



# Pembelajaran Fisika melalui Bencana Alam: Strategi Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik

Refina Nuryanti<sup>1\*</sup>, Eko Hariyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

\*Corresponding author: refina.21078@mhs.unesa.ac.id

## Article History:

Received: Juli 05, 2025

Revised: Juli 28, 2025

Accepted: Agustus 20, 2025

Published: Desember 03, 2025

**Keywords:** Critical thinking, natural disasters mitigation, physics learning, pbl

**Abstract:** This study aims to analyze the improvement of students' critical thinking skills after implementing physics learning integrated with natural disaster mitigation of volcanic eruptions. This type of research is quasi experimental and Non-equivalent Control Group pre-test and post-test Design conducted at one of the SMAN in Kediri Regency. The number of samples in this study were 66 students in two classes selected by purposive sampling. The research instrument was in the form of a critical thinking skills test which was analyzed using excel software to determine how much the students' critical thinking skills improved between the experimental class and the control class through the n-gain value. Based on the research that has been done, the results show that the average n-gain of the experimental class is higher at 0.60 compared to the control class of 0.48. These results indicate that the application of the PBL model integrated with volcanic eruption mitigation in experimental classes is more influential in improving students' critical thinking skills than control classes that use conventional learning.

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah diterapkan pembelajaran fisika terintegrasi mitigasi bencana alam erupsi gunung api. Jenis penelitian ini *quasi experimental* dan desain *Non-equivalent Control Group pre-test and post-test Design* yang dilakukan di salah satu SMAN di Kabupaten Kediri. Jumlah sampel dalam penelitian ini sebanyak 66 peserta didik dalam dua kelas yang dipilih secara *purposive sampling*. Instrumen penelitian berupa tes kemampuan berpikir kritis yang dianalisis menggunakan *software excel* untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol melalui nilai n-gain. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa rata-rata n-gain kelas eksperimen lebih tinggi sebesar 0,60 dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,48. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api pada kelas eksperimen lebih berpengaruh dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik daripada kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional.

## PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif yang menjadikan Indonesia memiliki sebaran gunung api aktif di berbagai wilayah (Akbari et al., 2023). Indonesia memiliki 129 gunung api aktif, salah satunya Gunung Kelud yang terletak di antara Kabupaten Kediri, Kabupaten Malang, dan

Kabupaten Blitar (Prayogi and Hendarto 2020; Yanto et al. 2022). Tahun 2014 menjadi letusan terdahsyat Gunung Kelud di era modern dan mengakibatkan banyak kerugian di berbagai sektor (Yusuf 2021).

Selain itu, akibat dari bencana ini juga menyebabkan banyak kerusakan atau kehilangan infrastruktur seperti jalan raya, rumah sakit, dan bangunan-bangunan

(Fauzi et al., 2021). Penanggulangan bencana di Indonesia menjadi tanggung jawab bersama dengan risiko yang terikat bagi seluruh lapisan anak-anak hingga remaja (Sapuntala et al. 2025). Pendidikan mitigasi dapat dilakukan melalui berbasis kelas dengan mengintegrasikannya pada mata pelajaran yang berkesinambungan dengan ilmu alam seperti fisika, khususnya bagi sekolah-sekolah di daerah rawan bencana untuk memberikan peserta didik pemahaman dalam pencegahan dan penanggulangan bencana (Genika, et al., 2023; Opilah et al., 2023; Rahmawati, et al., 2020). Sejalan dengan temuan penelitian Selby et al (2012) bahwa integrasi pengurangan risiko bencana paling sering diterapkan pada mata pelajaran sains seperti salah satunya Fisika.

Ilmu fisika berkaitan erat dengan lingkungan sekitar, terutama fenomena dan peristiwa dalam kehidupan sehari-hari seperti bencana alam (Fitriyah et al., 2023). Fisika sebagai cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari sebab akibat terjadinya suatu peristiwa alam, menyelidiki beragam fakta, dan prinsip. Keberadaan ilmu fisika ini banyak dikaitkan dengan peristiwa di kehidupan sehari-hari sehingga memberikan manusia kesempatan untuk dapat memahami peristiwa alam disekitar (Rahmawati et al., 2022).

Salah satu bencana alam yang memiliki hubungan dengan ilmu fisika seperti erupsi gunung api. Magma dalam gunung api dapat dianggap sebagai fluida dengan viskositas yang dapat mempengaruhi gerakan aliran lava dan karakter terjadinya erupsi (Mahroni & Supriyatna, 2024). Ketika hujan tiba, air hujan akan membawa material vulkanik yang mengendap di lereng gunung menuju lembah dalam bentuk lahar. Semakin cepat lahar mengalir maka sifatnya akan semakin merusak.

Pada ilmu pengetahuan, aliran fluida dan viskositas ini dapat dipelajari melalui

pelajaran fisika tentang dinamika fluida. Berdasarkan observasi melalui wawancara kepada guru fisika salah satu SMAN di Kabupaten Kediri diperoleh informasi bahwa mengaitkan pembelajaran fisika dengan mitigasi bencana alam dapat menjadi suatu upaya persiapan dan pencegahan bencana alam terutama bagi sekolah yang berlokasi di kawasan rawan bencana alam seperti erupsi gunung api. Pembelajaran kebencanaan dapat membangun sikap ilmiah peserta didik dalam mengidentifikasi masalah (Hariyono et al., 2020). Sikap ilmiah tersebut akan dapat berdampak pada kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam menyelesaikan masalah yang dihadapinya.

Berpikir kritis menjadi salah satu keterampilan abad-21 yang harus dikuasai oleh peserta didik untuk meraih kesuksesan. Karena dengan berpikir kritis dapat membantu peserta didik untuk mengatasi persoalan-persoalan baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam kegiatan belajar. Adanya kemampuan berpikir kritis, peserta didik akan dapat mencari solusi dan memecahkan suatu permasalahan dengan melibatkan proses mencari, mengumpulkan, menganalisis, dan mengkonsep informasi yang diperoleh untuk meningkatkan kreativitas dalam menghadapi masalah (Gunada et al., 2023). Salah satunya dalam memutuskan suatu tindakan evakuasi saat menghadapi bencana alam. Sehingga sangat penting untuk peserta didik dapat memiliki kemampuan berpikir kritis terutama dalam pembelajaran fisika. Namun, tantangan yang saat ini dihadapi guru di lapangan yakni masih rendahnya kemampuan berpikir kritis peserta didik terutama pada pembelajaran fisika.

Hal ini sejalan dengan hasil observasi melalui tes kemampuan berpikir kritis dengan 10 soal pilihan ganda materi fluida dinamis yang menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan berpikir kritis peserta didik berada pada kategori sangat

rendah dengan 38,19% peserta didik yang dapat menjawab soal dengan benar. Hasil tersebut sejalan dengan temuan Nurjanah et al., (2022) bahwa kemampuan berpikir kritis peserta didik pada pembelajaran fisika topik fluida dinamis masih tergolong rendah. Penelitian oleh Hidayati et al., (2022) mengungkapkan bahwa kemampuan berpikir kritis peserta didik pada pembelajaran fisika topik getaran harmonik berada pada kategori tidak kritis yang dibuktikan dari hasil *pre-test* yang diberikan.

Rendahnya kemampuan berpikir kritis peserta didik dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya kurangnya kebiasaan dalam menghadapi permasalahan yang rumit. Selain itu, belum memperoleh dukungan yang memadai untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis, seperti melalui latihan soal yang menuntut tingkat kognitif tinggi maupun soal-soal kontekstual yang berkaitan dengan fenomena alam di lingkungan sekitarnya (Putri et al. 2023). Oleh karena itu, seorang pendidik dituntut untuk mampu memilih strategi pembelajaran yang tepat untuk mencapai tujuan pembelajaran secara optimal.

Salah satu cara yang dapat diterapkan dengan mengintegrasikan isu bencana alam ke dalam pembelajaran fisika, seperti bencana erupsi gunung api. Permasalahan ini memiliki relevansi tinggi, khususnya bagi peserta didik yang tinggal di wilayah rawan bencana, sehingga konteks tersebut menjadi penting untuk diangkat dalam proses pembelajaran.

Mengintegrasikan pembelajaran fisika dengan bencana alam akan membantu peserta didik dalam memahami konsep fisika yang abstrak dan bagaimana bertindak jika terjadi bencana (Fatmaryanti et al. 2021).

Pada kasus ini, model pembelajaran berbasis masalah (*Problem-Based Learning*) menjadi pendekatan yang tepat, karena memberikan ruang bagi peserta didik untuk belajar melalui permasalahan

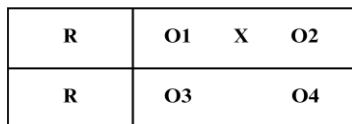
nyata yang terjadi di sekitar mereka hingga proses refleksi dan evaluasi terhadap solusi yang dihasilkan (Hidayah et al. 2022).

Penerapan model PBL terintegrasi mitigasi bencana alam memungkinkan peserta didik berperan sebagai pemecah masalah sekaligus terlibat aktif dalam praktik kebencanaan dan konsep pembelajaran kebencanaan. Selain itu, melalui model PBL peserta didik akan berfokus pada kemampuan untuk memecahkan masalahnya secara mandiri sehingga dapat membiasakan peserta didik untuk mempunyai kemampuan berpikir kritis (Arifah et al., 2021). PBL turut berperan dalam mengembangkan keterampilan peserta didik, khususnya dalam hal pemecahan masalah, kolaborasi dalam tim, berpikir kritis, serta kemampuan mengaitkan konsep teoretis dengan situasi nyata dalam kehidupan sehari-hari. Kemampuan-kemampuan tersebut dapat berkontribusi pada upaya pengurangan risiko bencana dan meningkatkan pemahaman peserta didik dalam melindungi diri maupun kelompoknya (Putri et al., 2024). Penelitian yang dilakukan oleh Siregar, (2022) dan Amelia et al., (2024) menunjukkan hasil bahwa model PBL dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik terutama pada materi fisika fluida.

Berdasarkan pemaparan tersebut masih diperlukan penelitian yang menghubungkan pembelajaran fisika terintegrasi mitigasi erupsi gunung api untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Hal ini dikarenakan pembelajaran berbasis mitigasi bencana alam biasa diintegrasikan pada mata pelajaran geografi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah diterapkan pembelajaran fisika terintegrasi mitigasi bencana alam erupsi gunung api.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian *quasi experimental design* dan desain penelitian *non-equivalent control group pre-test and post-test design*. Gambar 1 berikut desain penelitian.



**Gambar 1.** Skema desain penelitian *pretest-posttest control group* (Sugiyono 2013)

Keterangan:

R = Kelompok eksperimen dan kontrol diambil secara *purposive sampling*

O<sub>1</sub> = Nilai *pre-test* kelas eksperimen (sebelum diberi perlakuan)

O<sub>2</sub> = Nilai *post-test* kelas eksperimen (setelah diberi perlakuan)

O<sub>3</sub> = Nilai *pre-test* kelas kontrol (sebelum pembelajaran)

O<sub>4</sub> = Nilai *post-test* kelas kontrol (setelah pembelajaran)

X = Jenis perlakuan/*treatment* untuk kelas eksperimen berupa model *Problem Based Learning* (PBL) teritegrasi bencana erupsi gunung api)

Gambar 1 menjelaskan bahwa terdapat dua kelompok yang masing-masing dipilih secara *purposive sampling* (R). Kemudian kedua kelompok diberi *pre-test* untuk mengetahui kemampuan awal peserta didik pada kelompok eksperimen (O<sub>1</sub>) dan kelompok kontrol (O<sub>3</sub>) dalam kemampuan berpikir kritis. Kelompok eksperimen diberi perlakuan (X) dengan menerapkan model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) teritegrasi bencana erupsi gunung api, sedangkan kelompok kontrol diberlakukan pembelajaran konvensional. Setelah diberi perlakuan peserta didik dari kedua kelompok diberi *post-test* untuk mengetahui sejauh mana peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik pada kelompok eksperimen (O<sub>2</sub>) dan kelompok kontrol (O<sub>4</sub>).

Penelitian ini dilakukan di salah satu SMAN di Kabupaten Kediri yang termasuk kawasan rawan bencana erupsi Gunung Kelud. Jumlah sampel dalam penelitian ini sebanyak 66 peserta didik dalam dua kelas, yaitu 33 peserta didik kelas eksperimen dan 33 peserta didik kelas kontrol yang dipilih secara *purposive sampling* melalui rekomendasi guru mata pelajaran fisika. Objek penelitian ini berupa peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik terhadap pembelajaran fluida dinamis melalui model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api. Instrumen penelitian yang digunakan berupa soal tes kemampuan berpikir kritis sebanyak 5 butir soal dengan bentuk uraian yang mengacu pada lima indikator berpikir kritis oleh Ennis. Berdasarkan lima indikator berpikir kritis tersebut, berikut disajikan Tabel 1 keterkaitan indikator berpikir kritis dan indikator soal.

**Tabel 1.** Kisi-kisi keterkaitan indikator berpikir kritis dengan indikator soal

No Soal	Indikator Berpikir Kritis	Indikator Soal
1	Memberikan penjelasan lanjut, meliputi mendefinisikan mempertimbangkan suatu definisi	Peserta didik dapat menganalisis hubungan antara jumlah silika terhadap kecepatan aliran lava dengan konsep viskositas
2	Membangun keterampilan dasar, meliputi: mengobservasi, mempertimbangkan hasil observasi	Peserta didik dapat menganalisis dampak aliran lahar di hilir sungai yang mengalami penyempitan dan pendangkalan berdasarkan hasil perhitungan kecepatan, serta potensi ancaman dan strategi mitigasi menggunakan konsep persamaan kontinuitas
3	Memberikan penjelasan sederhana, meliputi:	Peserta didik dapat mengevaluasi potensi bahaya erupsi gunung api

No Soal	Indikator Berpikir Kritis	Indikator Soal
	bertanya dan menjawab pertanyaan	berdasarkan hasil perhitungan tekanan di ruang magma (titik A) serta tindakan mitigasi yang tepat bagi warga sekitar saat terjadi erupsi
4	Menyimpulkan, meliputi: melakukan dan mempertimbangkan hasil deduksi	Peserta didik dapat memprediksikan dampak aliran lahar akibat adanya penyempitan sungai dengan konsep persamaan kontinuitas
5	Mengatur strategi dan taktik, meliputi: menentukan sesuatu tindakan	Peserta didik dapat merencanakan strategi mitigasi untuk meminimalisir akibat dari penyebaran abu vulkanik hasil erupsi gunung api dengan memperkirakan hasil kecepatan aliran angin serta jarak sebaran abu vulkanik akibat angin

Instrumen tes kemampuan berpikir kritis telah melalui proses validasi oleh dosen ahli pendidikan fisika dan guru fisika, uji reliabilitas, daya beda, dan tingkat kesukaran menggunakan *software* SPSS. Penelitian dilakukan dengan memberikan kedua kelas *pre-test* untuk mengetahui kemampuan awal berpikir kritis peserta didik antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kemudian dilakukan pembelajaran, kelompok eksperimen diberi perlakuan pembelajaran fisika fluida dinamis melalui model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api, sedangkan kelompok kontrol diterapkan pembelajaran materi fluida dinamis terintegrasi mitigasi erupsi gunung api melalui model konvensional dengan metode ceramah dan tanya jawab.

Setelah dilakukan pembelajaran, peserta didik dari kedua kelompok diberi *post-test* untuk mengetahui sebesar apa peningkatan kemampuan berpikir kritis setelah diterapkan pembelajaran fisika fluida dinamis terintegrasi mitigasi erupsi gunung api yang telah dilakukan. Teknik analisis data dilakukan menggunakan analisis *n-gain* untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik antara kelas eksperimen dan kelas kontrol melalui nilai *pre-test* dan *post-test* dengan rumus:

$$g = \frac{(S_f - S_i)}{(100 - S_i)} \quad \dots (1)$$

(Hake 1999)

Keterangan:

$g$  = gain ternormalisasi

$S_f$  = Skor *post-test*

$S_i$  = Skor *pre-test*

Adapun kriteria nilai *n-gain* yang dinormalisasi sebagai berikut:

**Tabel 2.** Kriteria interpretasi nilai gain yang dinormalisasi

Nilai $g$	Interpretasi
$(g) \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > (g) \geq 0,3$	Sedang
$(g) < 0,3$	Rendah

(Hake 1999)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu SMAN di Kabupaten Kediri semester genap tahun ajaran 2024/2025. Kegiatan pembelajaran dilakukan di kelas XI-2 IPA sebagai kelas eksperimen dan XI-3 IPA sebagai kelas kontrol. Pada kedua kelas disampaikan materi fluida dinamis terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dengan kelas eksperimen diberikan perlakuan model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan kelas kontrol diberlakukan model konvensional melalui metode ceramah dan tanya jawab.

Adapun data hasil penelitian yang diperoleh berupa nilai *pre-test* dan *post-*

test sebanyak lima soal uraian yang berorientasi indikator berpikir kritis menurut Ennis (1991) yaitu (1) memberikan penjelasan sederhana (*elementary clarification*), meliputi: bertanya dan menjawab pertanyaan; (2) membangun keterampilan dasar (*basic support*), meliputi: mengobservasi, mempertimbangkan hasil observasi; (3) menyimpulkan (*inference*), meliputi: melakukan dan mempertimbangkan hasil deduksi; (4) memberikan penjelasan lanjut (*advanced clarification*), meliputi: mendefinisikan, mempertimbangkan suatu definisi; dan (5) mengatur strategi dan taktik (*strategies and tactics*), meliputi: menentukan suatu tindakan. Berikut rata-rata nilai *pre-test* dan *post-test* kedua kelas disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Rata-rata nilai *pre-test* dan *post-test* kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kelas	Jenis Tes		Mean
	Pre-test	Post-test	
Eksperimen	13,45	64,70	39,08
Kontrol	11,45	54,30	32,88

Berdasarkan Tabel 3 hasil rata-rata *pre-test* kelas eksperimen sebesar 13,45 dan *post-test* sebesar 64,70 dengan rata-rata *pre-test* dan *post-test* sebesar 39,08. Sedangkan kelas kontrol memiliki rata-rata *pre-test* sebesar 11,45 dan *post-test* sebesar 54,30 dengan rata-rata *pre-test* dan *post-test* sebesar 32,88. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol dengan rata-rata kelas eksperimen lebih besar dibandingkan kelas kontrol.

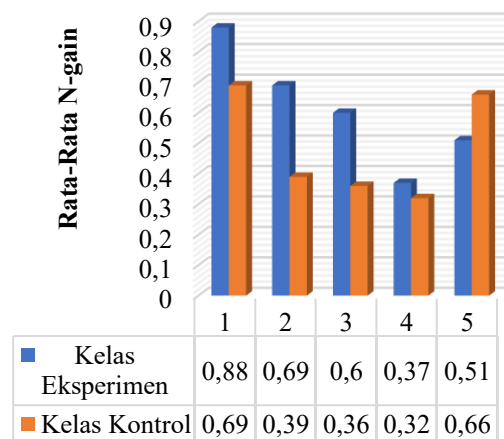
Berdasarkan hasil rata-rata *pre-test* dan *post-test* telah menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis, untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kemampuan berpikir kritis tersebut dapat diketahui melalui analisis n-

gain. Berikut disajikan hasil perhitungan rata-rata n-gain kelas eksperimen dan kelas kontrol pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Rata-rata n-gain kelas eksperimen dan kelas kontrol

Kelas	Rata-Rata N-gain	Kategori
Eksperimen	0,60	Sedang
Kontrol	0,48	Sedang

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis n-gain, terdapat peningkatan kemampuan berpikir kritis pada peserta didik kelas eksperimen dan kelas kontrol. Peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik kelas eksperimen lebih tinggi sebesar 0,60 dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,48. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran melalui model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api pada kelas eksperimen lebih berpengaruh dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Peningkatan kemampuan berpikir kritis ini juga didukung dengan adanya peningkatan di tiap indikatornya. Kelima indikator tersebut berorientasi pada lima soal *pre-test* dan *post-test*, di mana setiap soal memuat satu indikator berpikir kritis dengan skor maksimal 20. Berikut hasil peningkatan kemampuan berpikir kritis pada tiap indikator disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik rata-rata n-gain setiap indikator kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen dan kelas kontrol

Keterangan:

- 1 = Memberikan penjelasan lanjut
- 2 = Membangun keterampilan dasar
- 3 = Memberikan penjelasan sederhana
- 4 = Menyimpulkan
- 5 = Mengatur strategi dan taktik

Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan tertinggi di kedua kelas yaitu pada indikator memberikan penjelasan lanjut sebesar 0,88 dengan kategori tinggi di kelas eksperimen dan 0,69 dengan kategori sedang di kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, kemampuan berpikir kritis indikator memberikan penjelasan lanjut meningkat ketika peserta didik dapat menjelaskan dan mempertimbangkan suatu definisi tentang viskositas, konsep kontinuitas beserta Hukum Bernoulli melalui kegiatan pembelajaran pada fase V. Menganalisis dan mengevaluasi proses dan hasil pemecahan masalah model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan menjawab pertanyaan dalam tes untuk menganalisis pengaruh jumlah silika terhadap kecepatan aliran lava dengan mempertimbangkan definisi dari viskositas dengan benar.

Aktivitas fase V PBL berfokus pada kegiatan evaluasi hasil penyelidikan dan penguatan materi yang telah dipelajari. Pada fase ini peserta didik dituntut untuk terlibat aktif dan komunikatif dalam menyampaikan kesimpulan dari konsep berdasarkan pemahaman yang mereka bangun sendiri, proses ini sejalan dengan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam memberikan penjelasan dan mempertimbangkan suatu definisi secara masuk akal dan bermakna.

Gambar 3 dan Gambar 4 berikut hasil jawaban peserta didik pada indikator penjelasan lebih lanjut.

1. Berdasarkan data diatas pengaruh jumlah silika terhadap kecepatan aliran lava adalah semakin banyak jumlah silika, maka viskositas lava akan semakin tinggi. Sebaliknya, semakin sedikit jumlah silika, maka viskositas lava akan semakin rendah.

**Gambar 3.** Jawaban *pre-test* indikator memberikan penjelasan lanjut

1. Pengaruh jumlah silika terhadap kecepatan aliran lavanya yaitu, jika jumlah silika sedikit maka viskositas lava akan rendah dan kecepatan aliran lava akan semakin cepat. Jika jumlah silika sangat banyak maka viskositas lava akan sangat tinggi dan kecepatan aliran lava akan semakin lambat.

**Gambar 4.** Jawaban *post-test* indikator memberikan penjelasan lanjut

Indikator kemampuan berpikir kritis membangun keterampilan dasar sebesar 0,69 dengan kategori sedang di kelas eksperimen dan 0,39 dengan kategori sedang di kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, kemampuan berpikir kritis indikator membangun keterampilan dasar meningkat ketika peserta didik dapat melakukan serta mempertimbangkan hasil percobaan melalui kegiatan pembelajaran pada fase III. Membimbing penyelidikan kelompok maupun mandiri model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan menjawab pertanyaan dalam tes untuk menganalisis kecepatan aliran lahar dingin dibagian hilir sungai serta potensi ancaman dari kecepatan lahar dingin tersebut dengan benar.

Aktivitas fase III PBL berfokus pada kegiatan pembimbingan penyelidikan, di mana peserta didik dituntut untuk terlibat aktif dalam kegiatan diskusi kelompok untuk menganalisis data dan informasi hasil penyelidikan. Kegiatan diskusi kelompok, peserta didik dilatih dalam mengkaji data hasil percobaan, menyusun argumen berdasarkan bukti, dan mempertimbangkan berbagai kemungkinan penyebab dari suatu fenomena erupsi gunung api. Kegiatan penyelidikan melalui aplikasi *simulation* VLC oleh Prof. Dr. Eko Hariyono, S.Pd., M.Pd. dan *website PhET Simulations Fluid Pressure and Flow In* memungkinkan dapat mengamati pengaruh tingkat jumlah silika dan aliran fluida sebagai perumpamaan aliran lava dan lahar dingin, kemudian peserta didik menganalisis data hasil percobaan dan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan fluida. Proses ini mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam membangun keterampilan dasar, khususnya dalam

melakukan observasi dan mempertimbangkan hasil observasi. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan hasil *pretest* dan *posttest* pada indikator keterampilan dasar.

2. Yang terjadi bencana aliran lahar di hulu sungai bagian atas mengeras, disebabkan penampungan sedimen material vulkanik dan Gunung Krakatau terjadi penyempitan aliran. Akibatnya daerah hulu sungai mengalami banjir. Akibatnya aliran terhambat dan daerah hulu sungai tidak dapat aliran air sehingga rusak terhambat. Sebagai mitigasinya upaya pemerintah untuk memperlakukan aliran air dan warga sekitar. Selain itu adanya evakuasi material sedimen vulkanik.

Gambar 5. Jawaban *pre-test* indikator membangun keterampilan dasar

2. Diketahui : Ditanya :  $V_2 = \dots ?$   
 $A_1 = 11.000 \text{ m}^2$   
 $A_2 = 36.000 \text{ m}^2$   
 $V_1 = 8 \text{ m/s}$   
 Jawab :  
 $V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$   
 $8 \cdot 11000 = V_2 \cdot 36000$   
 $620000 = V_2$   
 $17,2 \text{ m/s} = V_2$   
 • Kecepatan di aliran hulu meningkat dibanding kecepatan di hulu sungai. Penyebabnya faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah luas penampang yang berbeda antara hulu dan hulu juga sedimen yang terdapat pada lahar dingin.  
 • Upaya mitigasi bencana yang dapat dilakukan adalah membuat faku warga sekitar supaya segera evakuasi, dan dilakukan perbaikan juga oleh pemerintah dan juga warga sekitar dapat membantu dalam perbaikan.

Gambar 6. Jawaban *post-test* indikator membangun keterampilan dasar

Indikator kemampuan berpikir kritis memberikan penjelasan sederhana sebesar 0,60 dengan kategori sedang di kelas eksperimen dan 0,36 dengan kategori sedang di kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, kemampuan berpikir kritis indikator memberikan penjelasan sederhana meningkat ketika peserta didik dapat bertanya dan menjawab pertanyaan dari masalah yang ditunjukkan tentang erupsi gunung api dan lahar dingin dalam bentuk rumusan masalah melalui kegiatan pembelajaran pada fase I. Mengorientasikan peserta didik pada masalah model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan menjawab pertanyaan dalam tes untuk mengevaluasi potensi bahaya dari erupsi gunung api dengan mempertimbangkan hasil tekanan di titik ruang magma beserta upaya mitigasi bagi warga sekitar dengan benar.

Aktivitas fase I PBL berfokus pada kegiatan orientasi masalah berupa erupsi gunung api dan lahar dingin, di mana peserta didik dibimbing untuk terlibat aktif dalam penyelidikan awal masalah melalui tanya jawab, menganalisis dan

mengemukakan pendapat awal berdasarkan permasalahan yang diberikan. Proses ini bertujuan untuk membangkitkan rasa ingin tahu peserta didik dalam mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam memberikan penjelasan sederhana, khususnya melalui kemampuan menyampaikan dan menjawab pertanyaan berdasarkan permasalahan erupsi gunung api. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil *pretest* dan *posttest* pada indikator penjelasan sederhana.

3. Dengan kecepatan magma yang meningkat dapat disimpulkan adanya kemungkinan terjadinya erupsi, dan lahar yang keluar akan memiliki viskositasnya yang sangat tinggi dengan begitu aliran (lahar) akan memiliki kecepatan yang sangat rendah. Warga sekitar dapat segera mengevakuasi barang-barang berharga dan anggota keluarganya.

Gambar 7. Jawaban *pre-test* indikator memberikan penjelasan sederhana

3. Diketahui : diameter dapur magma = 6 km  
 diameter pipa kepundan = 4 km  
 (g) Tekanan: 4533 mmHg = 604.248,9 Pa  
 $v_1 = 8 \text{ m/s}$        $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$   
 $h_1 = 18 \text{ m}$   
 $v_2 = 18 \text{ m/s}$   
 $h_2 = 1700 \text{ m}$   
 $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$   
 Ditanya :  $P_2$  / Tekanan pada dapur magma ?  
 $P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$   
 $P_1 + \frac{1}{2} \cdot 2600 \cdot 8^2 + 2600 \cdot 9,8 \cdot 18 = 604.248,9 + \frac{1}{2} \cdot 2600 \cdot 18^2 + 2600 \cdot 9,8 \cdot 1700$   
 $P_1 + 83.200 + 458.640 = 604.248,9 + 421.200 + 43.316.000$   
 $P_1 + 541.840 = 44.341.448,9$   
 $P_1 = 43.799.608,9$   
 $P_2 = 43.799.608,9 \text{ Pa}$   
 Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan hasil dari tekanan di dapur magma yaitu 43.799.608,9. Diketahui bahwa tekanan awal pada dapur magma sangatlah besar lalu saat melalui pipa kepundan tekanannya mengalami penurunan. Tindakan mitigasi yang dapat dilakukan yaitu dengan mendeteksi seberapa jauh erupsi akan mempengaruhi area magma, sehingga warga di sekitar area erupsi dapat segera melakukan evakuasi apabila erupsi terjadi.

Gambar 8. Jawaban *post-test* indikator memberikan penjelasan sederhana

Indikator kemampuan berpikir kritis menyimpulkan sebesar 0,37 dengan kategori sedang di kelas eksperimen dan 0,32 dengan kategori sedang di kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, kemampuan berpikir kritis indikator menyimpulkan meningkat ketika peserta didik dapat menyimpulkan hasil analisis berdasarkan data percobaan untuk menyelesaikan masalah melalui kegiatan pembelajaran pada fase IV. Mengembangkan dan menyajikan hasil model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan menjawab pertanyaan

dalam tes untuk memprediksikan dampak dari aliran lahar dingin yang mengalir pada sungai yang mengalami penyempitan dengan benar.

Aktivitas fase IV PBL berfokus pada kegiatan peserta didik dalam mengembangkan dan menyajikan hasil penyelidikan. Melalui kegiatan ini peserta didik melakukan presentasi hasil data dan analisis secara berkelompok. Proses ini melatih peserta didik dalam mengemukakan hasil temuan dan argumen secara masuk akal berdasarkan data, serta menarik kesimpulan dari hasil penyelidikan yang telah dilakukan. Aktivitas ini mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam menyimpulkan, khususnya dalam mempertimbangkan hasil deduksi. Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan hasil *pretest* dan *posttest* pada indikator menyimpulkan.

9. Yang terjadi pada sungai ketika udaranya mengalami peltakan dan mgd semakin dalam kedalamananya sehingga pada saat hujan volume air di Sungai akan meningkat dan berakibat banjir / memenuh banjir

Gambar 9. Jawaban *pre-test* indikator menyimpulkan

4. Diket:  $P_1 = 14,5 \text{ km}$ ,  $P_2 = 2 \text{ km}$ ,  $P_3 = 11,5 \text{ km}$ ,  $11500 \text{ m}^3$ ,  $t = 1,5 \text{ jam}$   
 $L_1 = 7,5 \text{ m}$ ,  $L_2 = 4 \text{ m}$ ,  $L_3 = 1,5 \text{ m}$ ,  $V = 100.100 \text{ m}^3$   
 $d_1 = 2 \text{ m}$ ,  $d_2 = 1,5 \text{ m}$   
 $V_1 = 0,7 \text{ m/s}$ ,  $V_2 = 1,5 \text{ m/s}$   
 Ditanya: Vol belum terjadi?  
 Jawab: 1.  $V_{\text{total}} = V_1 + V_2$   
 $R_1, d_1, P_1, L_1, d_2$   
 $= 11.500 \cdot 7,5 \cdot 2 + 3000 \cdot 4 \cdot 1,5$   
 $= 172.500 + 18.000$   
 $= 190.500 \text{ m}^3$   
 $192 \text{ V teisi} = \frac{190.500}{10} = 19.050 \text{ m}^3$   
 $193. \text{ V belum teisi} = V_{\text{total}} - V_{\text{teisi}}$   
 $= 190.500 - 19.050$   
 $= 171.450 \text{ m}^3$   
 10. Dampak: Volume sungai lebih sedikit daripada volume sungai yang belum terjadi sehingga sungai tidak dapat menampung air hujan maka bisa terjadi banjir karena air meluap dari sungai.

Gambar 10. Jawaban *post-test* indikator menyimpulkan

Indikator kemampuan berpikir kritis mengatur strategi dan taktik sebesar 0,51 dengan kategori sedang di kelas eksperimen dan 0,66 dengan kategori sedang di kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, kemampuan berpikir kritis indikator mengatur strategi dan taktik meningkat ketika peserta didik dapat menentukan suatu tindakan yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan masalah melalui aktivitas percobaan sederhana dalam kegiatan pembelajaran fase II. Mengorganisasikan peserta didik untuk

belajar model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dan menjawab pertanyaan dalam tes untuk merencanakan strategi mitigasi akibat penyebaran abu vulkanik erupsi gunung api dengan memperkirakan kecepatan aliran angin serta jarak sebaran abu vulkanik dengan benar.

Aktivitas fase II PBL berfokus pada mengorganisasikan peserta didik untuk belajar melalui serangkaian kegiatan berkolaborasi dan melakukan percobaan. Pada fase ini peserta didik difokuskan dalam melakukan langkah-langkah percobaan dan membagi tugas secara kolboratif. Kegiatan percobaan dilakukan memanfaatkan aplikasi *simulation* VLC oleh Prof. Dr. Eko Hariyono, S.Pd., M.Pd. yang memberikan peserta didik visualisasi nyata terhadap konsep fluida dinamis dengan kegiatan erupsi gunung api dan *website PhET Simulations Fluid Pressure and Flow In* yang memberikan kesempatan peserta didik dalam mengeksplorasi konsep tekanan dan kecepatan aliran fluida. Aktivitas ini mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam mengatur strategi dan taktik, karena peserta didik harus dapat menentukan tindakan penyelidikan yang sesuai untuk menyelesaikan masalah yang disajikan dalam konteks erupsi gunung api. Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan hasil pada indikator mengatur strategi dan taktik.

5. Strategi mitigasi untuk meminimalkan dampak sebaran abu vulkanik adalah melakukan erupsi warga sekitar sekitarnya yang tidak terkena sebaran abu vulkanik, membuat hujan buatan

Gambar 11. Jawaban *pre-test* indikator mengatur strategi dan taktik

5. Ditut:  
 $A_1 = 600 \text{ m}^2$  (lembah Ubar)  
 $V_1 = 27 \text{ km/jam} = 7,5 \text{ m/s}$   
 $A_2 = 200 \text{ m}^2$  (lembah sempit)  
 Ditanya:  $V_2 = ?$   
 Jawab:  $V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$   
 $600 \times 7,5 = 200 \times V_2$   
 $4500 = 200 \times V_2$   
 $V_2 = \frac{4500}{200} = 22,5 \text{ m/s}$   
 8. Perhatikan jarak sebaran Abu  
 Abu mularang selama 10 menit = 600 detik  
 Kecepatan angin lembah sempit =  $20 \text{ m/s}$   
 Jawab:  
 $V_1 \cdot t = 600$   
 $= 13,500 \text{ meter}$   
 $= 13,5 \text{ km}$

10. Kesimpulan  
 Abu vulkanik akan tersebar hingga ± 13,5 km ke arah timur dari bawah mulut lembah sempit.  
 Dampak Sebaran Abu  
 - Binahasi mata  
 - Injeksi saluran pernapasan  
 - Masalah kelasik km  
 - Gangguan jarak pandang  
 Strategi Mitigasi  
 - Viggas buffer zone  
 - Membuat bangunan  
 - Pembatasan rutan  
 - Pengawasan Sebarannya.

Gambar 12. Jawaban *post-test* indikator mengatur strategi dan taktik

Berdasarkan Gambar 2 hasil pada indikator berpikir kritis 1 (memberikan penjelasan lanjut), 2 (membangun keterampilan dasar), 3 (memberikan penjelasan sederhana), dan 4 (menyimpulkan) menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan peserta didik kelas kontrol yang dibuktikan dari hasil rata-rata nilai *n-gain*. Hal ini dikarenakan pada kelas eksperimen kegiatan pembelajaran melalui model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api didukung oleh serangkaian kegiatan praktikum *simulation* VLC oleh Prof. Dr. Eko Hariyono, S.Pd., M.Pd. dan *website PhET Simulations Fluid Pressure and Flow In*, di mana kedua media tersebut memberikan sajian visualisasi nyata tentang proses terjadinya erupsi gunung api, aliran lava, dan bahaya-bahaya dari erupsi serta aliran fluida pada pipa dengan luas penampang dan ketinggian berbeda. Kegiatan praktikum tersebut, dapat memusatkan fokus dan minat peserta didik dalam topik pembelajaran yang dibahas sehingga memudahkan peserta didik memahami serta mengingat konsep. Dengan demikian, peserta didik lebih terlatih dalam berpikir kritis yang mengharuskan mereka untuk melakukan analisis mendalam dan memberikan solusi berbasis fenomena kontekstual seperti upaya mitigasi erupsi gunung api yang diangkat pada penelitian ini.

Pada indikator 5 (Mengatur Strategi dan Taktik) menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik kelas kontrol lebih tinggi sebesar 0,66 dibandingkan kelas eksperimen sebesar 0,51. Hal ini dikarenakan, peserta didik kelas eksperimen dituntut untuk menantukan strategi penyelesaian masalah secara mandiri melalui serangkaian kegiatan eksplorasi dan percobaan, di mana proses ini membutuhkan tingkat kemandirian belajar yang tinggi. Namun, belum seluruhnya peserta didik terbiasa dengan

pendekatan pembelajaran ini. Oleh karena itu, meskipun kegiatan pembelajaran kelas eksperimen didukung dengan serangkaian kegiatan eksperimen dan eksplorasi yang mendorong peserta didik untuk terlibat aktif dalam membangun pengetahuannya, tetapi guru masih perlu untuk memberikan dukungan dan pembimbingan dalam menyusun langkah-langkah mengatur strategi yang diperlukan dalam menyelesaikan permasalahan secara teratur. Sedangkan pada kelas kontrol pembelajaran dilakukan secara konvensional, di mana proses ini guru cenderung menyajikan dan menjelaskan materi secara teratur dan runtur sehingga membantu peserta didik lebih mudah memahami urutan langkah penyelesaian soal dengan sifat prosedural yang mendukung indikator ini. Hal ini dapat menjadi salah satu penyebab peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan kelas kontrol.

Berdasarkan rata-rata *n-gain*, secara keseluruhan peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik lebih tinggi kelas eksperimen sebesar 0,60 dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,48. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Alifa et al., (2024) menunjukkan nilai rata-rata tes kemampuan berpikir kritis kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang mengindikasikan bahwa model PBL efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Penelitian oleh Siregar, (2022) juga mendukung hasil ini, di mana rata-rata nilai *post-test* kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang artinya model PBL pada pokok bahasan fluida mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik SMA.

## SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pembelajaran fluida dinamis melalui model PBL terintegrasi mitigasi

erupsi gunung api yang telah dilakukan di salah satu SMAN di Kabupaten Kediri diperoleh hasil bahwa kemampuan berpikir kritis peserta didik mengalami peningkatan. Hasil ini ditandai dengan rata-rata nilai *post-test* lebih tinggi dibandingkan rata-rata nilai *pre-test* dan rata-rata *n-gain* sebesar 0,60 berkategori sedang. Besar peningkatan 0,60 ini juga menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan pada kelas eksperimen berupa model PBL terintegrasi mitigasi erupsi gunung api dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik dengan peningkatan lebih besar dibandingkan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti selanjutnya untuk menerapkan pembelajaran fisika terintegrasi bencana alam dengan cakupan materi dan jenis bencana alam yang lebih beragam.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akbari., Hajjar, I., & Wiyatmo, Y. (2023). Keefektifan media pembelajaran fisika sma terintegrasi pendidikan kebencanaan tsunami ditinjau dari peningkatan penguasaan materi dan kesiapsiagaan bencana alam. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(2), 36–47.
- Alifa., Siti., Subarinah, S., Kurniawan, E., & Soeprianto, H. (2024). Efektivitas model problem based learning (pbl) dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. *Journal of Classroom Action Research*, 6(4), 738–744. <https://doi.org/10.55681/sentri.v3i2.2295>.
- Amelia., Nurafni., Zulaiha, F., & Kusuma, D. (2024). Pengaruh model pembelajaran problem based learning disertai peta konsep terhadap kemampuan berpikir kritis dan afektif siswa sma. *Biocephy: Journal of Science Education*, 4(1), 489–94. <https://doi.org/10.52562/biocephy.v4i1.1058>.
- Arifah., Nur., Kadir, F., & Nuroso, H. (2021). Hubungan antara model pembelajaran problem based learning dengan kemampuan berpikir kritis pada pembelajaran fisika siswa. *Karst: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Terapannya*, 4(1), 14–20. <https://doi.org/10.46918/karst.v4i1.946>.
- Ennis, R. (1991). *Critical thinking: a streamlined conception*. Canada: University of Illinois.
- Fatmaryanti., Desy, S., Kurniawan, E. S., Pratiwi, U., & Akhdinirwanto, R.W. (2021). Disaster mitigation in physics learning: Pedagogical approach and teaching material based on higher order thinking skills. *Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology (BIS-STE 2020)*, 203, 165–68. <https://doi.org/10.2991/aer.k.210810.027>.
- Fauzi., Mohammad., & Mussadun. (2021). Dampak bencana gempa bumi dan tsunami di kawasan pesisir lere. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 17(1), 16–24.
- Fitriyah., Hana., Lestari, N. A., & Budiarto, E. (2023). Validitas modul ajar berbasis inquiry learning terintegrasi pendidikan lingkungan terkait perubahan iklim untuk meningkatkan kemampuan berpikir kreatif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Dan Pembelajaran*, 02(01), 17–28.
- Genika., Regi, P., Luthfia, R.A., & Wahyuningsih, Y. (2023). Urgensi pembelajaran mitigasi bencana terhadap kesiapsiagaan peserta didik sekolah dasar. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 5(1), 3239–3246. <https://doi.org/10.31004/jpdk.v5i1.11503>.
- Gunada, I., Wayan., Ismi, R., Verawati, N. N. S. P., & Sutrio, S. (2023). Analisis tes kemampuan pemecahan

- masalah dan berpikir kritis pada materi gelombang bunyi. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(1), 489–495.  
<https://doi.org/10.29303/jipp.v8i1.1368>.
- Hake., Richard, R. (1999). Analyzing change/gain scores. *American Educational Research Association's Division D, Measurement and Research Methodology*, 1–4.
- Hariyono., Eko., Prahani, B. K., & Mardiyanti, M. (2020). Volcano Project Design: Innovation In Geoscience Learning. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 8(2), 139–49.  
<https://doi.org/10.33394/jps.v8i2.3267>.
- Hidayah., Nurmala., Zuhdi, M., Taufik, M., & Harjono, A. (2022). Pengembangan media powtoon berbasis model problem based learning untuk meningkatkan penguasaan konsep fisika peserta didik. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran Fisika Indonesia*, 3(2).  
<https://doi.org/10.29303/jppfi.v3i2.123>.
- Hidayati., Risma., Makhrus, M., & Sutrio. (2022). Kemampuan berpikir kritis peserta didik pada pembelajaran fisika materi getaran harmonik dengan pendekatan saintifik. *Kappa Journal*, 6(2), 258–268.
- Mahroni., & Supriyatna, D. (2024). Study literatur analisis mekanika fluida pada pengaruh variasi suhu terhadap dinamika aliran lava letusan gunung berapi. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 2(11), 86–96.
- Nurjanah., Siti., Djudin, T., & Hamdani. (2022). Analisis kemampuan berpikir kritis peserta didik pada topik fluida dinamis. *Jurnal Education and Development*, 10(3), 111–116.  
<https://doi.org/10.37081/ed.v10i3.3849>.
- Opilah., Sendy, B., Karyadi, B., & Johan, H. (2023). Analisis pengintegrasian pendidikan mitigasi bencana pada pembelajaran fisika di pulau enggano. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 1795–1799.
- Prayogi., Firdaus, S., & Hendarto. (2020). Eksperimen alat peraga pendidikan tentang gempa bumi dan mitigasinya untuk anak sekolah dasar dengan fitur augmented reality. *Jurnal Desain Indonesia*, 6(01), 111–125.
- Putri, W., Ferdinand, S. Leuwol., & Lasaiba, M. A. (2024). Peningkatan pemahaman mitigasi bencana peserta didik melalui pbl. 3, 85–98.
- Putri., Iswara, W., Sundari, P.D., Mufit, F., & Dewi, W. S. (2023). Analisis keterampilan berpikir kritis siswa sma pada materi pemanasan global. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(4), 2428–2435.  
<https://doi.org/10.29303/jipp.v8i4.1787>.
- Rahmawati, L., Labibah, U. N., & Kuswanto, H. (2020). The implementation of android-based physics learning media integrated with landslide disaster education to improve critical thinking ability and disaster preparedness. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440, 1–6.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012042>.
- Rahmawati, R., Yusuf, W. A., Khaeruddin, K., (2022). Penerapan model problem based learning (pbl) dengan metode brainstorming untuk membenahi pemahaman. *Spektra: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 8(1), 27–36.
- Sapuntala., Anggik., Susilawati, S. A., Hafida, S. H. N., & Ibrahim, M. H. (2025). The relationship between disaster self-awareness and junior high school students' disaster preparedness for mount merapi eruption. *Jambura Geo Educations Journal*, 6(1), 59–73.  
<https://doi.org/10.37905/jgej.v6i1.29>

- 388.
- Selby., David., & Kagawa, F. (2012). *Disaster risk reduction in school curricula: case studies from thirty countries*. Unesco: United Nations Children Fund:.
- Siregar., Nurhasana. (2022). Pengaruh Problem based learning (pbl) terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada materi fluida. *Jemas*, 3(1), 19–23.  
<http://journal.umuslim.ac.id/index.php/jemas/article/view/1276>.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan r & d (2nd Ed)*. Bandung: Alfabeta.
- Yanto., Tri, B., Sayekti, I. K., Susilawati, S. A., & Pramudita, D. A. (2022). Analisis kebutuhan pengembangan e-book mitigasi bencana gunung api untuk anak disabilitas. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 5203–5214.  
<https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.3082>.
- Yusuf, M. (2021). *Gunung kelud: Proses dan budaya*. Sukabumi: Haura Publishing.