

Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis Melalui Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Materi Teori Kinetik Gas

Novia Krisetyaningrum Dwi Yulianti

Received: 26 April 2023 · Accepted: 15 September 2023; Published Online: 30 September 2023

Copyright © 2023, Wahana Pendidikan Fisika



Abstract

The 21st century, marked by digitalization, has had a profound impact on many aspects of life, one of which is education. It takes skills to meet all the challenges and phenomena of globalization in the 21st century. One of the skills that students need to have is critical thinking skills. This research aims to understand the development of learners' critical thinking skills through STEM-based physics learning on gas kinetic theory material. STEM refers to the four fields of science, technology, engineering, and mathematics taught in one discipline. This research uses a problem-based learning model, and every aspect of STEM is integrated into the learning tools used in RPP, UKBM, curriculum materials, and worksheets. The research design was a Quasi-Experimental Design using Nonequivalent Control Group Design. The study subjects were students of class XI MIPA 7 and XI MIPA 6 of SMA Negeri 1 Kendal. The development of critical thinking skills was analyzed based on pretests, posttests, and discussion sheet responses. Research shows that STEM-based learning can develop critical thinking skills in intermediate categories.

Keywords: Critical Thinking · STEM Education · STEM based Learning

INTRODUCTION

Pada era Abad ke-21, pendidikan dituntut mampu menghasilkan sumber daya manusia yang memiliki daya saing tinggi, memiliki keterampilan teknologi dan media informasi, serta dapat bekerja, dan bertahan untuk hidup. Berdasarkan Standar Kompetensi Lulusan, sasaran pembelajaran mencakup pengembangan ranah sikap, pengetahuan, dan keterampilan yang dielaborasi pada setiap satuan pendidikan. Kemendikbud merumuskan bahwa pembelajaran Abad ke-21 harus mampu mengembangkan keterampilan belajar pada peserta didik yang meliputi berpikir kritis dan mampu menyelesaikan masalah, kreatif dan inovatif, serta mampu berkomunikasi dan berkolaborasi.

Perubahan cara berpikir manusia Abad ke-21 menuntut perubahan besar dalam dunia pendidikan. Pendidikan di abad ini lebih menekankan pada peningkatan keterampilan yang penting untuk dipelajari dengan memanfaatkan perkembangan teknologi digital Bedir (2019).

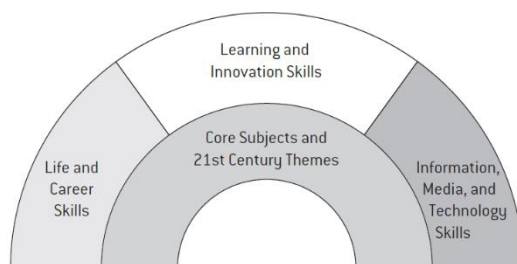
✉ Novia Krisetyaningrum noviakrisetyaningrum@gmail.com Dwi Yulianti yul_ah@mail.unnes.ac.id

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

How to Cite: Krisetyaningrum, N. & Yulianti, D. (2023). Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis Melalui Pembelajaran Fisika Berbasis STEM Materi Teori Kinetik Gas. *Wahana Pendidikan Fisika*, 8(2), 109-123. <https://doi.org/10.17509/wapfi.v8i2.57057>

Hal ini sejalan dengan pernyataan BSNP (2010), bahwa untuk menghadapi Abad ke-21 yang semakin sarat dengan teknologi dalam kehidupan masyarakat global, maka pendidikan harus berorientasi pada ilmu pengetahuan matematika dan sains disertai dengan kemampuan sosial.

Karena hal tersebut instansi pendidikan perlu memastikan bahwa cakupan kesuksesan peserta didik bukan hanya diukur berdasarkan angka hasil belajar saja tetapi juga dari keterampilan yang nantinya diperlukan untuk berkompetisi pada dunia global. Trilling & Fadel (Trilling & Fadel, 2009) menyatakan sebuah skema keterampilan yang perlu dikembangkan melalui pembelajaran Abad ke-21. Skema tersebut disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema Keterampilan Belajar Abad ke-21 (Sumber: Partnership for 21st Century Learning)

Salah satu keterampilan Abad ke-21 yang harus dimiliki oleh peserta didik yaitu Learning and Innovation Skills-4C meliputi berpikir kritis (*critical thinking*), komunikasi (*communication*), kolaborasi (*collaboration*), dan berpikir kreatif (*creative thinking*). Keterampilan ini dianggap sebagai standar emas yang wajib dimiliki oleh peserta didik agar mampu memenuhi tuntutan global (Kim et al., 2019).

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, kritis berarti bersifat tidak lekas percaya, bersifat selalu berusaha menemukan masalah dan tajam dalam penganalisisan. Berpikir kritis memungkinkan seseorang mampu menganalisis informasi secara cermat dan membuat keputusan yang tepat. Kizilhan & Demir (2022) menjelaskan bahwa berpikir kritis berkaitan dengan kemampuan untuk berpikir secara berkelanjutan dan fleksibel sepanjang hidup individu ketika berhadapan dengan masalah. Berpikir kritis adalah keterampilan yang memerlukan latihan karena bukan termasuk keterampilan yang dimiliki individu sejak lahir.

Proses berpikir kritis yang dilatih kepada peserta didik akan membentuk kecenderungan mereka untuk mempertimbangkan secara matang suatu masalah yang muncul untuk mengambil keputusan yang tepat. Pada saat proses pengambilan keputusan, peserta didik akan berusaha menghubungkan fakta dengan masalah yang dihadapi. Oleh karena itu, berpikir kritis dapat didefinisikan sebagai cara berpikir untuk menguji, menghubungkan, dan mengevaluasi seluruh situasi masalah untuk mencari kesimpulan dan penyelesaian (Nisa et al., 2018).

Untuk mendapatkan lulusan yang mampu mengaitkan suatu bidang keilmuan dengan kehidupan nyata dibutuhkan suatu pembelajaran yang mampu memfasilitasi mereka mengembangkan keterampilannya terutama untuk berpikir kritis. Pada dasarnya untuk mendapatkan pendidikan yang sesuai standar maka seseorang akan belajar untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dan keterampilannya. Karena belajar adalah salah satu keputusan paling kritis dalam hidup seseorang (Juita, 2020).

Selain peningkatan keterampilan Abad ke-21, membentuk peserta didik yang terampil dalam bidang sains, teknologi, rekayasa, dan matematika juga telah menjadi fokus pemerintah di seluruh dunia setidaknya dalam satu dekade terakhir karena pentingnya peran pendidikan

STEM dalam sektor teknologi kesehatan, produksi dan ekonomi secara umum (Arikan, et al., 2020). Hal ini sejalan dengan Deklarasi Incheon untuk Pendidikan 2030 yang merekomendasikan pendidikan berbasis sains dan teknologi sebagai strategi utama mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (UNESCO, 2015). Sebagai ilustrasi matematika sangat penting untuk memahami konsep-konsep ilmiah. Demikian juga pemikiran dan konsep ilmiah menjadi konteks penting dalam matematika. Sedangkan rekayasa dan teknologi mengandalkan matematika dan aplikasinya.

STEM merujuk pada empat bidang ilmu pengetahuan yaitu sains, teknologi, rekayasa dan matematika yang diajarkan pada satu disiplin ilmu. Melalui pembelajaran berbasis STEM, peserta didik dapat belajar secara kolaboratif dalam kelompok, menggunakan pengukuran atau perhitungan matematis, mengintegrasikan teknologi untuk meneliti prinsip-prinsip ilmiah, dan melakukan eksperimen menggunakan metode ilmiah (Seage & Türegün, 2020). Hal ini sejalan dengan Yulianti & Anjani (2020), kegiatan belajar dalam kelompok yang disertai penggunaan bahan ajar berbasis STEM dengan pemberian masalah yang harus dipecahkan bersama dapat membantu mereka lebih cepat menemukan solusinya (Yulianti & Anjani, 2020)

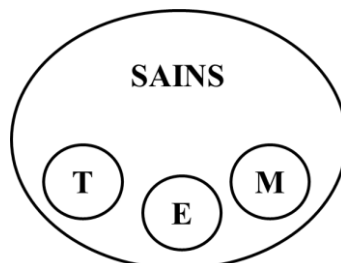
Fisika merupakan bagian dari Ilmu Pengetahuan Alam yang mempelajari fenomena alam dan interaksi di dalamnya melalui pengamatan, pengukuran, dan analisis. Pembelajaran fisika perlu disesuaikan dengan metode-metode yang dipelajari fisikawan sebelumnya dan menekankan pada pemberian pengalaman langsung yang berpusat pada peserta didik (Tanti et al., 2021). Salah satu materi yang diajarkan di fisika adalah teori kinetik gas. Materi teori kinetik gas dapat diintegrasikan dengan teknologi, rekayasa, dan matematika dalam proses pembelajarannya. Melalui pembelajaran fisika berbasis STEM dapat membantu peserta didik mengetahui penerapan teori kinetik gas dalam kehidupan sehari-hari.

Kata STEM pertama kali diluncurkan oleh *National Science Foundation AS* yang merupakan akronim dari *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. *Science* merujuk pada Pengetahuan ilmiah dan proses mengenai alam yang tersusun secara sistematis dan melalui berbagai metode yaitu konsep-konsep teori kinetik gas seperti hukum-hukum gas ideal. Teknologi mengacu pada sebuah ilmu pengetahuan terapan yang menyelidiki tentang pengembangan alat di bidang Teknik contohnya adalah alat-alat yang menerapkan teori kinetik seperti airbag dan balon udara.

Engineering merupakan pemahaman mengenai bagaimana teknologi mampu diciptakan dan dikembangkan melalui sebuah proses rekayasa atau desain. Secara umum, teknik adalah penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menyelesaikan permasalahan manusia contohnya cara kerja *airbag* dapat mengembang ketika terjadi kecelakaan dan bagaimana balon udara dapat terbang kaitannya dengan kinetik gas. Sedangkan *mathematics* merupakan suatu ilmu mengenai logika tentang bentuk, besaran, atau susunan berbagai konsep yang saling berhubungan contohnya adalah persamaan-persamaan matematis pada hukum gas ideal.

Untuk mendapatkan dampak maksimal dari penerapan STEM, penting untuk memastikan bahwa pengintegrasian aspek STEM dilaksanakan dengan benar. Menurut Santangelo et al., (2021) terdapat beberapa metode mengkolaborasikan lintas disiplin ilmu dalam pembelajaran STEM. Pertama adalah metode silo, merupakan pembelajaran STEM berfokus pada masing-masing disiplin ilmu dan aspek STEM diajarkan secara terpisah. Kedua, metode tertanam yang lebih menekankan integrasi materi pembelajaran. Dan ketiga adalah metode terpadu, metode ini menekankan penyatuan dan peleburan setiap aspek STEM sebagai satu subjek.

Cara yang lebih komprehensif untuk menerapkan STEM dalam pembelajaran yaitu dengan menanamkan keempat disiplin ke satu sama lain sebagai satu subjek. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode tertanam sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 2.



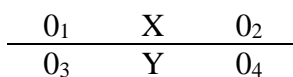
Gambar 2. Pembelajaran Berbasis STEM Metode Tertanam

Pada pembelajaran berbasis STEM metode tertanam, sains yang dalam hal ini adalah konsep fisika menjadi pokok dalam pembelajaran dan menanamkan ketiga aspek lainnya di dalam materi. Metode tertanam menciptakan sebuah sistem pembelajaran aktif karena keempat aspek dibutuhkan secara bersamaan untuk menyelesaikan masalah dengan mengutamakan aspek sains sebagai pokok utama.

Konsep-konsep sains terutama fisika diajarkan dengan mengaitkannya pada aplikasi teknologi dan rekayasanya dalam kehidupan sehari-hari. Pembelajaran STEM yang menanamkan keempat disiplin ilmu juga memotivasi peserta didik untuk meningkatkan pengetahuannya dengan mengetahui penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah pembelajaran fisika berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) pada materi teori kinetic gas. Menggunakan *Quasi Experimental Design* berupa *Nonequivalent Control Group Design*. Sampel terdiri dari dua kelas sebagai kelas control dan kelas eksperimen yang diberi perlakuan awal berupa *pre-test* dan *post-test* sebagai uji akhir. Tahapan penelitian meliputi persiapan, pelaksanaan, analisis dan penarikan kesimpulan. Desain penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain penelitian

O_1 dan O_3 merupakan hasil *pre-test* kelas eksperimen dan kelas kontrol sebelum diberi perlakuan. X adalah perlakuan yang diberikan pada kelas eksperimen, yaitu pembelajaran menggunakan pendekatan STEM, sedangkan Y adalah perlakuan yang diberikan kepada kelas kontrol berupa pembelajaran menggunakan pendekatan yang biasa diterapkan di sekolah. O_2 dan O_4 adalah hasil *post-test* kelas eksperimen dan kelas kontrol setelah diberi perlakuan. Selanjutnya data yang diperoleh dalam penelitian dianalisis menggunakan teknik yang telah ditentukan.

Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI MIPA di SMA Negeri 1 Kendal. Sampel penelitian yaitu kelas XI MIPA 7 sebagai kelas eksperimen dan XI MIPA 6 sebagai

kelas kontrol yang dipilih berdasarkan hasil tes homogenitas. Pengambilan sampel menggunakan Teknik *Purposive sampling* yaitu pengambilan anggota sampel dari populasi yang tidak didasarkan atas strata tetapi didasarkan pada tujuan tertentu (Arikunto, 2016).

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pendekatan pembelajaran yang digunakan. Pendekatan STEM digunakan di kelas eksperimen dan pendekatan yang biasa digunakan di kelas untuk kelas kontrol. Perkembangan keterampilan berpikir kritis adalah variabel terikat pada penelitian ini. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah keterampilan abad 21 terutama keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Metode pengumpulan data menggunakan tes uraian untuk menguji kemampuan berpikir kritis. Hal ini karena bentuk soal uraian baik untuk mengukur hasil belajar peserta didik pada tingkatan aplikasi, analisis, evaluasi, dan kreativitas (Widoyoko, 2015). Tes yang diberikan berupa *pre-test* yaitu tes yang dilaksanakan sebelum diberikan perlakuan dan *post-test* yang dilakukan setelah pemberian perlakuan. Selain itu, digunakan juga pengumpulan data berupa dokumentasi untuk memperoleh data peserta didik yang akan dijadikan subyek penelitian. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan pembelajaran saat penelitian berlangsung melalui gambar atau video.

Validitas instrumen tes menggunakan bantuan program IBM Statistic SPSS 22 melalui menu *Analyze – Correlate - Bivariate*. Lalu membandingkan nilai korelasi hitung (r_{hitung}) dengan (r_{tabel}), jika ($r_{hitung} \geq r_{tabel}$) maka butir soal yang diuji bersifat valid. Menurut Sundayana (2018) tingkat kesukaran adalah tingkat suatu butir soal dipandang sukar, sedang, atau mudah dalam mengerjakannya. Sedangkan daya pembeda soal adalah kemampuan suatu butir soal untuk dapat membedakan antara peserta didik yang telah menguasai materi yang ditanyakan dengan peserta didik yang belum atau kurang menguasai materi yang ditanyakan. Uji tingkat kesukaran dan daya pembeda soal dilakukan menggunakan *software Microsoft Excel 2016*.

Uji instrumen tes yang terakhir yaitu reliabilitas. Uji reliabilitas bertujuan untuk mengetahui ketepatan suatu alat untuk mengukur apa yang akan diukur. Suatu instrumen dikatakan reliabel bila hasil yang diberikan relatif sama jika diberikan pada subyek yang sama meskipun dilakukan oleh orang yang berbeda, waktu yang berlainan, dan tempat yang berbeda (Sundayana, 2018).

Pengujian reliabilitas tes uji coba soal menggunakan bantuan program IBM Statistic SPSS 22 dengan metode *Cronbach Alpha* melalui menu *Analyze – Scale – Reliability Analysis*. Pengambilan keputusan dinyatakan dengan melihat nilai Cronbach Alpha dimana suatu instrumen dinyatakan reliabel jika memiliki nilai *Cronbach Alpha* $\geq 0,60$ (Trihendrari, 2013). Uji reliabilitas dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu uji reliabilitas soal uji coba yang dinyatakan valid dan tahap kedua yaitu uji reliabilitas terhadap soal yang akan digunakan dalam penelitian.

Sebelum soal tes digunakan dalam penelitian, terlebih dahulu dilaksanakan analisis instrument meliputi validitas, uji tingkat kesukaran soal, daya pembeda, dan reliabilitas. Hasil tes uji awal dan akhir selanjutnya dianalisis menggunakan uji perbedaan.

Pada penelitian ini dilakukan dua macam uji perbedaan, yaitu: (1) menguji beda rata-rata perkembangan keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen sebelum dan sesudah mendapat pembelajaran berpendekatan STEM dengan *Independent Samples T Test*; (2) menguji perbedaan antara kelas eksperimen yang mendapat pembelajaran fisika berpendekatan STEM dan kelas kontrol dengan *Paired Samples T T Test*. Uji perbedaan dilakukan dengan bantuan

program *SPSS 22 for Windows*. Selain itu, juga dilakukan uji peningkatan (*Normalized gain*) untuk memperoleh gambaran umum mengenai perkembangan keterampilan berpikir kritis setelah maupun selama proses pembelajaran fisika berpendekatan STEM. Uji peningkatan dapat dihitung menggunakan rumus *N-Gain* (Sundayana, 2018) pada persamaan 1.

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{po} \rangle - \langle S_{pr} \rangle}{100 - \langle S_{pr} \rangle} \quad (1)$$

Dengan g adalah faktor gain; S_{po} adalah nilai *post-test*; dan S_{pre} adalah nilai *pre-test*. Kriteria penilaian faktor gain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Penilaian Gain

N-Gain	Kriteria
$-1.00 \leq g < 0.00$	Terjadi penurunan
$g = 0.00$	Tetap
$0.00 < g < 0.30$	Rendah
$0.30 \leq g < 0.70$	Sedang
$0.70 \leq g \leq 1.00$	Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran fisika materi teori kinetik gas berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) pada penelitian ini diterapkan di kelas XI MIPA7 sebagai kelas eksperimen. Pembelajaran dilakukan selama tiga kali pertemuan, setiap pertemuan terdiri dari dua jam pelajaran.

Aspek STEM diintegrasikan dalam kegiatan maupun perangkat yang digunakan dalam pembelajaran meliputi Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang mengikuti sintaks PBL, bahan ajar, Unit Kegiatan Belajar Mandiri (UKBM), Lembar Diskusi Peserta Didik (LDPD), dan instrumen penilaian. Sains sebagai aspek utama diintegrasikan dalam bentuk pembahasan materi di setiap sub bab. Aspek teknologi diintegrasikan dalam bentuk pembahasan penerapan konsep dasar alat-alat yang termasuk penerapan teori kinetik gas. Aspek *engineering* (rekayasa) diintegrasikan dalam bentuk informasi desain dan cara kerja beberapa teknologi yang menerapkan konsep teori kinetik gas. Aspek matematika diintegrasikan pada setiap sub bab dalam bentuk penggunaan notasi angka-angka untuk perhitungan dan penggunaan lambang matematis suatu besaran.

Pertemuan pertama diawali oleh *pre-test* untuk mengetahui kemampuan awal berpikir kritis peserta didik yang dilakukan di kelas eksperimen maupun kontrol. Kegiatan pembelajaran selanjutnya pada pertemuan pertama adalah mengajak peserta didik untuk mencari tahu mengenai cara kerja balon udara agar dapat terbang yang berhubungan dengan konsep dasar teori kinetik gas sebagai stimulus. Penyampaian materi diawali dengan menjelaskan tujuan pembelajaran, memberikan pertanyaan yang berkaitan dengan sains, dan mengajak peserta didik berdiskusi untuk memahami konsep dan hukum gas ideal serta penerapannya dalam aspek teknologi sehari-hari. Peserta didik diarahkan untuk berdiskusi dalam kelompok yang terdiri dari 4-5 orang. Mereka diberi motivasi untuk menggali rasa ingin tahu dan menyelesaikan masalah di UKBM dengan cara berkolaborasi.

Pembelajaran pertemuan ke dua pada kelas eksperimen masih menggunakan kegiatan kolaborasi. Pada pertemuan ini mereka diminta melakukan eksperimen sederhana untuk membuktikan hukum gas ideal yang telah mereka pelajari di pertemuan sebelumnya. Permasalahan yang disajikan di LDPD menuntut peserta didik untuk berpikir kritis dalam memecahkan masalah melalui metode eskperimen. Setiap peserta didik diwajibkan menuliskan hasil eksperimen di lembar diskusi masing-masing. Selama melakukan percobaan, mereka terlihat sangat antusias dibuktikan dengan banyaknya peserta didik yang bertanya dan saling memberikan respons kepada temannya.

Setelah peserta didik melakukan kegiatan eksperimen, Setiap kelompok diminta mempresentasikan hasilnya pada pertemuan ketiga secara bergantian dengan ditanggapi oleh peserta didik dari kelompok lain. Pembelajaran diawali dengan kegiatan mengulas materi sebelumnya yaitu mengenai hukum dan persamaan umum gas ideal serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik duduk berkelompok untuk berdiskusi mengenai keterkaitan antara aspek-aspek sains, teknologi, rekayasa, matematika pada airbag. Selanjutnya mereka diminta mempresentasikan hasil diskusi dan menyimpulkan pembelajaran secara bersama-sama. Pertemuan ke tiga diakhiri dengan kegiatan *post-test* untuk mengetahui kemampuan berpikir kritis peserta didik setelah pembelajaran.

Perkembangan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada penelitian ini dinilai berdasarkan hasil tes tulis yang berbentuk uraian yang diberikan pada awal dan akhir pembelajaran. Perkembangan keterampilan berpikir kritis dianalisis dengan menggunakan uji *N-Gain*. Hasil uji *N-Gain* yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji *N-Gain* Keterampilan Berpikir Kritis

Kelas	Rata-rata Nilai		<g>	Kriteria
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>		
Eksperimen	34.38	61.09	0.40	Sedang
Kontrol	33.28	41.56	0.12	Rendah

Rata-rata nilai *post-test* antara kelas eksperimen dan kelas kontrol selanjutnya dianalisis menggunakan uji t untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan keterampilan berpikir kritis di antara kedua kelas tersebut. Hasil *Independent Sample T Test* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Independent Sample T Test Keterampilan Berpikir Kritis

Kelas	n	Mean	df	t _{hitung}	Sig. (2-tailed)
Eksperimen	32	60.47	62	-8.148	0.000
Kontrol	32	42.34			

Nilai *Independent Sample T Test* didapatkan nilai signifikansi (2-tailed) $0.000 < 0.05$ dan nilai *t* hitung sebesar 8.148 sedangkan harga *t*_{tabel} untuk signifikansi 5% yaitu 1.9989 (Sugiyono, 2016) sehingga $-t_{hitung} < -t_{tabel}$ yang menandakan *H₀* ditolak. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan keterampilan berpikir kritis antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol. Selain itu terdapat juga perbedaan antara rata-rata nilai *pre-test* dan *post-test* pada kelas eksperimen.

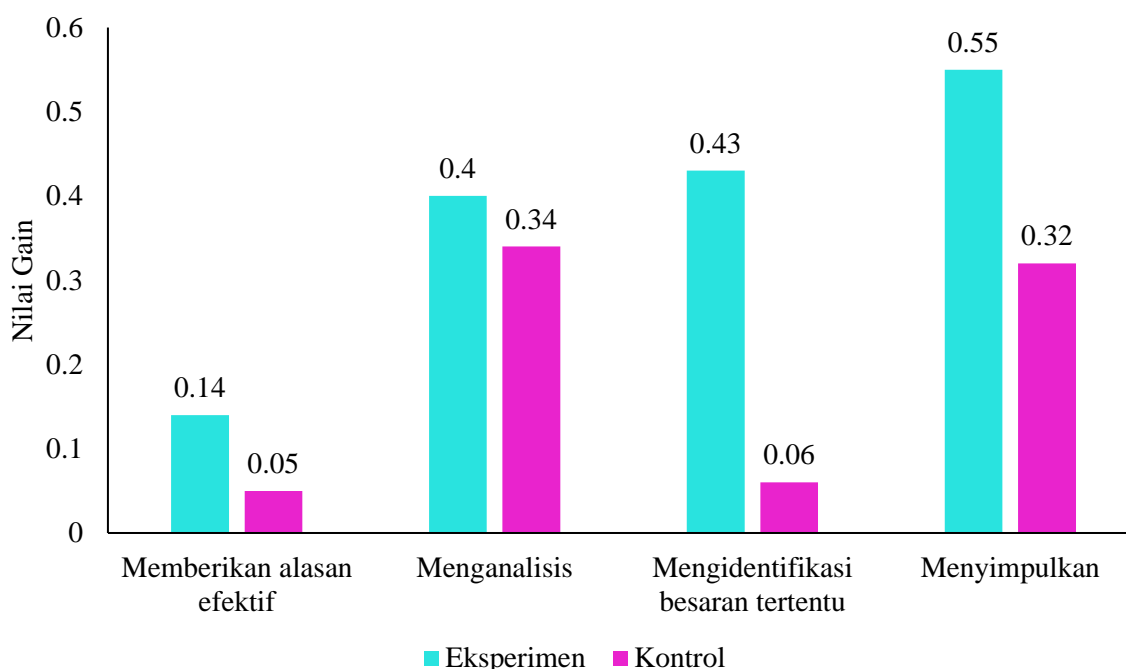
Untuk menguji beda rata-rata perkembangan keterampilan berpikir kritis sebelum dan setelah pembelajaran berbasis STEM dilakukan uji t berupa *Paired Sample T Test* yang hasilnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Independent Sample T Test Keterampilan Berpikir Kritis

<i>n</i>	<i>df</i>	<i>t</i> _{hitung}	<i>Sig.</i> (2 tailed)
32	31	-12.202	0.000

Berdasarkan hasil *Paired Sample T Test* pada nilai *pre-test* dan *post-test* kelas eksperimen didapatkan *t*_{hitung} sebesar -12.202 sedangkan harga *t*_{tane}; untuk signifikansi 5% yaitu 2.0395 [17]. Karena $-t_{hitung} < -t_{tabel}$ yaitu $-12.202 < -2.0395$ dan nilai signifikansi (2-tailed) $0.000 < 0.05$ maka *H*₀ ditolak. Hal ini menandakan bahwa ada perbedaan keterampilan berpikir kritis pada kelas eksperimen sebelum dan sesudah mengikuti pembelajaran fisika berbasis STEM.

Keterampilan berpikir kritis yang dikembangkan pada penelitian ini meliputi memberikan alasan efektif, mengidentifikasi besaran tertentu, menganalisis, dan menyimpulkan. Perkembangan setiap indikator keterampilan berpikir kritis untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol dianalisis dengan menggunakan uji *N-Gain*. Hasil *N-Gain* tiap indikator yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Analisis Tiap Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai *post-test* kelas eksperimen yang menggunakan STEM pada proses pembelajaran dibandingkan dengan kelas kontrol. Rata-rata nilai *post-test* peserta didik di kelas eksperimen juga menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol.

Nilai gain kelas eksperimen yang lebih besar dari kelas yang memperlihatkan bahwa perkembangan keterampilan berpikir kritis kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Santoso & Mosik (2019), bahwa penerapan STEM dalam pembelajaran fisika mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik (Santoso & Mosik, 2019).

Keterampilan berpikir kritis merupakan cara berpikir yang berkaitan dengan nalar. Berpikir kritis mengharuskan seseorang untuk menganalisis, mengategorikan, dan menilai atau memutuskan. Kemampuan dalam berpikir kritis memberikan arahan yang tepat bagi individu

dalam berpikir dan bekerja, serta membantu mencari keterkaitan antara yang satu dengan lainnya

Pemberian masalah yang disajikan dengan memadukan aspek-aspek STEM dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik yang belajar memecahkan masalah akan menjadikan mereka mampu menerapkan pengetahuan yang dimiliki atau mencoba mencari pengetahuan lain yang dibutuhkan. Pembelajaran juga akan bermakna dan meluas ketika peserta didik dihadapkan pada situasi yang dimana konsep yang sedang dipelajari diterapkan disitu. Menurut Puspita & Aloysius (2019), pembelajaran berbasis masalah dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis, menumbuhkan inisiatif dalam bekerja, motivasi untuk belajar, dan mengembangkan hubungan interpersonal melalui kerja kelompok.

Keterampilan ini juga dikembangkan melalui kegiatan diskusi untuk menemukan rumusan matematis dalam materi teori kinetik gas. Penyampaian materi yang dikaitkan dengan aplikasi kehidupan sehari-hari mampu mendorong peserta didik untuk menalar, menganalisis, dan menarik kesimpulan dari masalah yang diberikan. Menurut Mater, et al. (2020), pembelajaran berbasis STEM dilakukan melalui kerja kelompok yang membantu meningkatkan interaksi antar peserta didik dengan mengungkapkan ide, bertukar pendapat, dan saling mengoreksi yang mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritis mereka khususnya dalam menganalisis, menyimpulkan, dan membuat keputusan.

Pada Gambar 4 juga terlihat bahwa keterampilan berpikir kritis setiap indikator pada kelas eksperimen mengalami peningkatan, berbanding terbalik dengan kelas kontrol yang mengalami ketidakstabilan yang ditunjukkan pada analisis indikator 1 yaitu memberi alasan efektif. Hal ini karena pembelajaran pada kelas eksperimen bersifat *active learning* yang banyak memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21 mereka salah satunya yaitu berpikir kritis. Seperti yang dikemukakan oleh Kusumoto (2018), untuk memerintahkan peserta didik agar aktif, guru harus pintar merencanakan dan menerapkan metode pembelajaran yang menarik antara lain melalui diskusi kelompok.

melalui kegiatan diskusi mereka diharuskan untuk saling bertukar pendapat dengan teman satu kelompoknya untuk memperoleh jawaban pertanyaan yang disajikan. Tentu saja mereka membutuhkan kemampuan komunikasi agar mampu menyampaikan informasi atau isi pikirannya. Melalui kegiatan ini juga mereka dilatih untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis. Hal ini karena kemampuan berpikir kritis dapat dikembangkan melalui pemberian masalah yang disajikan dalam materi, termasuk pertanyaan yang diajukan guru kepada peserta didik serta kegiatan diskusi dalam pembelajaran (Yulianti et al., 2020)

Peserta didik didorong untuk menyampaikan pendapatnya melalui *brainstorming* dan mendiskusikannya dari berbagai sudut pandang sampai memperoleh jawaban dari masalah yang diajukan guru. Beberapa peserta didik yang sudah terbiasa dengan pembelajaran berpusat pada guru pada mulanya terlihat enggan dan ragu untuk berpartisipasi dalam kegiatan kelompok. Namun, secara bertahap mereka mulai terlibat untuk menyelesaikan masalah. Peserta didik yang lebih pintar lalu mengajari temannya yang masih belum paham dan mereka memperdalam pemahaman mereka bersama-sama. Berdasarkan hasil penelitian Mater et al. (2020), perkembangan keterampilan berpikir kritis dapat terjadi karena pembelajaran berbasis STEM memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menggunakan pengetahuannya untuk memecahkan masalah kehidupan sehari-hari hingga menemukan solusinya dengan cara ilmiah.

Melalui proses pembelajaran yang mengintegrasikan keempat aspek STEM memungkinkan mereka memperoleh pengalaman dan pengajaran yang lebih bermakna. Penjelasan materi yang dikaitkan dengan penerapannya dalam teknologi dan rekayasa, kegiatan diskusi, dan eksperimen sederhana berfungsi sebagai sumber utama pengetahuan untuk mengembangkan keterampilan proses sains. Pembelajaran STEM tidak hanya melibatkan materi pelajaran pada keempat aspek, namun juga keterampilan lain seperti mengidentifikasi masalah, mengaitkan antar pengetahuan, mengevaluasi dan menganalisis masalah secara kritis untuk memecahkannya secara metodologis (Cheng & So, 2020).

Memberi Alasan Efektif

Perkembangan keterampilan berpikir kritis untuk indikator memberikan alasan efektif dianalisis menggunakan uji *N-Gain* yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji *N-Gain* Indikator Memberi Alasan Efektif

Kelas	Rata-rata Nilai		< g >	Kriteria
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>		
Eksperimen	53.91	60.16	0.14	Rendah
Kontrol	50.00	44.53	-0.05	Turun

Kemampuan memberi alasan efektif diperlukan peserta didik untuk mengasumsikan sesuatu secara tepat untuk memperoleh solusi dari suatu permasalahan. Pada soal tes nomor 1, peserta didik diminta memberikan alasan mengenai suatu permasalahan sehari-hari yaitu penyebab ban sepeda motor yang sudah lama tidak digunakan menjadi kempes sedangkan setelah dicek tidak terdapat kerusakan pada ban. Sebagian besar peserta didik memberikan alasan yang tepat pada soal tersebut tetapi hanya beberapa yang bisa mengaitkannya pada hukum gas ideal pada jawaban *post-test* sekalipun materi tersebut sudah dibahas saat pembelajaran.

Berdasarkan Tabel 5, peningkatan keterampilan berpikir kritis untuk indikator memberi alasan efektif pada kelas eksperimen menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Hal ini terlihat dari nilai *N-Gain* pada kelas eksperimen yaitu 0.14 sedangkan pada kelas kontrol mengalami penurunan sebesar 0.05. Hal ini karena pembelajaran yang menerapkan STEM melibatkan peserta didik untuk aktif memecahkan permasalahan yang disajikan dalam UKBM melalui kegiatan diskusi dan percobaan sederhana.

Pemberian masalah yang relevan dan esensial dapat merangsang pemikiran dan motivasi peserta didik untuk belajar, juga membuat mereka memusatkan perhatiannya kepada pembelajaran dan termotivasi untuk menyelesaikan masalah tersebut (Ali, 2019). Melalui penyajian masalah di lembar kerja dan soal yang menuntut peserta didik memberi alasan menurut pendapatnya sendiri dapat memunculkan keyakinan mereka mengenai materi serta mengintegrasikan pengetahuan yang telah didapat (Begolli et al., 2021).

Pada pembelajaran yang memberikan masalah kepada peserta didik, mereka diharapkan mampu memberikan alasan dan argumennya. Menurut Bachtiar (2021), peserta didik yang terbiasa memberi argumen akan lebih mudah memahami konsep yang sedang dipelajari. Meskipun pembelajaran berbasis masalah sudah muncul sejak sebelumnya, namun di Abad ke-21 ini semua guru dituntut untuk menerapkannya dalam pembelajaran di berbagai disiplin ilmu.

Menganalisis

Keterampilan menganalisis merupakan suatu keterampilan menguraikan sebuah struktur ke dalam komponen-komponennya. Menurut Pillana (2019), berpikir kritis dalam dunia pendidikan adalah ketika kita mampu menganalisis secara mendalam pembelajaran atau pertanyaan yang menjadi bagian dari pelajaran. Pengembangan keterampilan ini bertujuan agar peserta didik mampu memahami sebuah konsep dengan cara menguraikan atau merincinya ke bagian-bagian yang lebih kecil. Kemampuan ini diperlukan agar mereka dapat memecahkan masalah yang dihadapi. Perkembangan keterampilan berpikir kritis untuk indikator menganalisis disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji *N-Gain* Indikator Menganalisis

Kelas	Rata-rata Nilai		< g >	Kriteria
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>		
Eksperimen	35.94	61.72	0.40	Sedang
Kontrol	35.94	54.69	0.34	Sedang

Peningkatan keterampilan berpikir kritis untuk indikator menganalisis pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol berada dalam kategori sedang. Namun rata-rata nilai *post-test* kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol dengan nilai sebesar 61,72. Karena pada pembelajaran yang menerapkan STEM, peserta didik diberi kesempatan untuk menganalisis permasalahan sehari-hari yang disajikan pada UKBM contohnya mengenai badan pompa ban sepeda yang menjadi panas setelah digunakan akibat pengaruh gerakan dan tekanan fluida di dalamnya.

Menurut Yulianti et al. (2019), masalah kontekstual yang disajikan dalam pembelajaran berbasis STEM memotivasi peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis sesuai dengan tahapan kemampuan yang dimulai ketika peserta didik dirangsang untuk menganalisis masalah dengan mencari alasan atau bukti yang mendukung ide mereka dalam memecahkan masalah. Dengan menerapkan pembelajaran berbasis masalah yang mengintegrasikan STEM, peserta didik dapat belajar untuk menganalisis informasi dari teks atau gambar menggunakan pengetahuan yang telah didapat (Rahmawati et al., 2021).

Kemampuan menganalisis terstimulasi ketika peserta didik mampu menguraikan masalah untuk mencari solusi yang tepat melalui kerja ilmiah yang meliputi kegiatan diskusi, tanya jawab, dan percobaan sederhana. Melalui kegiatan tersebut, peserta didik mampu melatih keterampilan menganalisis, bernalar, dan bertindak secara logis untuk menyelesaikan masalah (Nugraha et al., 2017). Karena kegiatan diskusi dan percobaan sederhana dapat memotivasi mereka untuk mengkonstruksi dan mengembangkan konsep sains.

Mengidentifikasi Besaran Tertentu

Mengidentifikasi dapat juga diartikan sebagai kemampuan untuk mencari, menemukan, mengumpulkan data dari informasi yang diketahui. Kemampuan ini penting dikembangkan mengingat pada era globalisasi informasi sangat mudah tersebar luas sehingga individu harus dibekali dengan kemampuan mengidentifikasi informasi yang penting untuk diketahui sebelum menentukan tindakan yang tepat. Kemampuan mengidentifikasi diukur menggunakan tes berbentuk essay atau uraian. Pada soal disajikan permasalahan yang berhubungan dengan konsep teori kinetik gas lalu peserta didik diminta mengidentifikasi salah satu besaran yang

terkait. Perkembangan keterampilan berpikir kritis untuk indikator mengidentifikasi besaran tertentu dianalisis dengan menggunakan uji *N-Gain* yang hasilnya disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji *N-Gain* Indikator Mengidentifikasi besaran Tertentu

Kelas	Rata-rata Nilai		< g >	Kriteria
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>		
Eksperimen	27.73	58.59	0.43	Sedang
Kontrol	28.13	32.42	0.06	Rendah

Pada kelas eksperimen keterampilan mengidentifikasi mengalami perkembangan sebesar 0.43 yang termasuk dalam kategori sedang, sedangkan pada kelas kontrol hanya meningkat sebesar 0.06 yang tergolong rendah. Hal ini karena pembelajaran yang menerapkan STEM mengajak peserta didik untuk aktif menemukan konsep melalui kegiatan percobaan sederhana. Pada pembelajaran ini, peserta didik diharuskan mengetahui hubungan besaran-besaran yang ada di hukum gas ideal melalui kegiatan praktikum sederhana. Sebagaimana pendapat Ilmi & Lagiono (2019), bahwa berpikir kritis mencakup keterampilan untuk menyelesaikan permasalahan sehari-hari dengan cara mengidentifikasi setiap informasi yang diterima lalu mengevaluasi secara sistematis dan menyampaikan pendapatnya (Ilmi & Lagiono, 2019). Salah satu tujuan utama pendidikan adalah agar individu mampu meningkatkan kemampuannya dalam berpikir kritis termasuk membuat keputusan rasional tentang apa yang diperbuat. Contoh berpikir kritis antara lain seseorang mampu menimbang bukti-bukti yang bertentangan dan mengidentifikasi asumsi atau argumen yang keliru.

Menyimpulkan

Perkembangan keterampilan berpikir kritis untuk indikator menyimpulkan dianalisis menggunakan uji *N-Gain* dengan hasil disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji *N-Gain* Indikator Menyimpulkan

Kelas	Rata-rata Nilai		< g >	Kriteria
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>		
Eksperimen	26.56	67.19	0.55	Sedang
Kontrol	24.22	46.09	0.32	Rendah

Berdasarkan Tabel 8 dapat dikatakan bahwa perkembangan keterampilan berpikir kritis untuk indikator menyimpulkan pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Menurut Anderson (2022), salah satu metode meningkatkan penalaran dan kritis peserta didik adalah dengan meminta mereka mengumpulkan informasi dan merasionalkan kesimpulan. Menyimpulkan adalah suatu kemampuan untuk mengambil inti sari dari informasi atau pengetahuan yang telah diketahui.

Keterampilan berpikir kritis hakikatnya adalah sebuah proses berpikir yang berujung pada penarikan kesimpulan tentang apa yang harus diyakini dan tindakan apa yang tepat untuk dilakukan (Pramuji et al., 2020). Karena hal itu keterampilan menyimpulkan sangat penting untuk dikembangkan. Keterampilan ini diukur menggunakan tes berupa soal uraian.

Pada kelas eksperimen yang menggunakan pembelajaran berbasis STEM, peserta didik dihadapkan pada permasalahan di UKBM yang diintegrasikan dengan aspek-aspek STEM untuk mendukung perkembangan kemampuan menyimpulkan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Lestari (2018), bahwa langkah mempertimbangkan dan menilai permasalahan yang

disajikan pada pembelajaran STEM mampu mendorong peserta didik untuk mengembangkan kemampuan menyimpulkan. Salah satunya yaitu melalui kegiatan percobaan sederhana yang mengajak peserta didik untuk mengidentifikasi atau mengelompokkan data yang dibutuhkan, selanjutnya mereka diharuskan menyimpulkan permasalahan berdasarkan data yang diperoleh.

Pada pembelajaran yang menerapkan STEM peserta didik juga diharuskan menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan fenomena sehari-hari secara mandiri maupun kelompok agar mereka mampu memperoleh pengetahuannya sendiri misalkan pada pertemuan pertama mereka dihadapkan pada permasalahan mengenai piston yang berisi gas ideal.

Menurut hasil penelitian Atalay & Boyaci (2019), terdapat beberapa manfaat kegiatan kolaborasi dalam pembelajaran diantaranya mampu meningkatkan kemampuan komunikasi peserta didik untuk saling bertanya dan menjawab dengan teman sebaya, menyelesaikan konflik secara konstruktif, memberi dukungan dan motivasi, serta berbagi dan saling mengintegrasikan pengetahuan. diskusi dan eksperimen adalah dua aktivitas yang terdapat dalam lembar kerja berbasis STEM yang dapat mengembangkan pengetahuan, sikap, dan keterampilan peserta didik melalui pengamatan ilmiah dan pengalaman langsung ketika memecahkan masalah (Yulianti et al., 2020).

Melalui penayangan video virtual lab yang menunjukkan keadaan piston ketika ditekan, mereka diharuskan menyimpulkan pengaruh tekanan terhadap volume gas. Memberikan tugas yang telah dirancang dengan baik melalui kegiatan belajar aktif mampu mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, misalnya tugas dalam bentuk masalah terbuka yang memungkinkan mereka untuk menemukan konsep sendiri (Susyla & Syofiana, 2019). Tugas ini dapat menjadi dasar untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di kelas.

KESIMPULAN

Impelementasi pembelajaran fisika berbasis STEM materi teori kinetik gas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model pembelajaran *Problem based learning*. Setiap aspek STEM diintegrasikan pada perangkat pembelajaran yang digunakan untuk memfasilitasi peserta didik dalam mengembangkan keterampilan Abad ke-21. Keterampil berpikir kritis peserta didik setelah pembelajaran berbasis STEM berkembang dari kategori rendah ke sedang dengan *N-Gain* sebesar 0.40 yang diukur berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, kami ingin berterimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian dari awal hingga akhir. Penulis juga berterimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Universitas Negeri Semarang yang memberikan peluang untuk membawa keluar penelitian ini.

REFERENCES

- Ali, S. S. (2019). Problem based learning: A student-centered approach. *English language teaching*, 12(5), 73-78.
- Anderson, M., Stamm, J., & Hills-Meyer, P. (2022). 'Thinking Like a Clinician:'A Pedagogical Approach for Teaching Foundational Clinical Reasoning Skills within a Pre-Preprofessional Undergraduate Anatomy Curriculum. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 33(2), 248-258.

- Arikan, S., Erktin, E., & Pesen, M. (2020). Development and validation of a STEM competencies assessment framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-24.
- Arikunto, S. (2016). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Atalay, N., & Boyaci, S. (2019). Slowmation Application in Development of Learning and Innovation Skills of Students in Science Course. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 11(5), 507-518.
- Bachtiar, R. W., Meulenbroeks, R. F., & van Joolingen, W. R. (2021). Stimulating mechanistic reasoning in physics using student-constructed stop-motion animations. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 777-790.
- Bedir, H. (2019). Pre-service ELT teachers' beliefs and perceptions on 21st century learning and innovation skills (4Cs). *Journal of Language and Linguistic Studies*, 15(1), 231-246.
- Begolli, K. N., Dai, T., McGinn, K. M., & Booth, J. L. (2021). Could probability be out of proportion? Self-explanation and example-based practice help students with lower proportional reasoning skills learn probability. *Instructional Science*, 49, 441-473.
- Cheng, Y. C., & So, W. W. M. (2020). Managing STEM learning: A typology and four models of integration. *International Journal of Educational Management*, 34(6), 1063-1078.
- Ilimi, M., & Lagiono, L. (2019). Pengaruh Model Problem Based Learning Terhadap Hasil Belajar Kognitif dan Berpikir Kritis Siswa Kelas X MIA SMAN 2 Kandangan Pada Konsep Ekosistem. *Jurnal pendidikan hayati*, 5(2).
- Juita, J. (2020). Identifikasi Konsentrasi Belajar di SMAN 8 Kota Jambi. *Schrödinger: Journal of Physics Education*, 1(1), 24-29.
- Kim, S., Raza, M., & Seidman, E. (2019). Improving 21st-century teaching skills: The key to effective 21st-century learners. *Research in Comparative and International Education*, 14(1), 99-117.
- Kizilhan, P., & Demir, E. (2022). A Study on the Relationship between Teacher Candidates' Attitudes towards Teaching Critical Thinking and Critical Thinking Standards. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 21(4), 1-18.
- Kusumoto, Y. (2018). Enhancing critical thinking through active learning. *Language Learning in Higher Education*, 8(1), 45-63.
- Lestari, D. A. B., Astuti, B., & Darsono, T. (2018). Implementasi LKS dengan pendekatan STEM (science, technology, engineering, and mathematics) untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal pendidikan fisika dan teknologi*, 4(2), 202-207.
- Mater, N. R., Haj Hussein, M. J., Salha, S. H., Draidi, F. R., Shaqour, A. Z., Qatanani, N., & Affouneh, S. (2022). The effect of the integration of STEM on critical thinking and technology acceptance model. *Educational Studies*, 48(5), 642-658.
- Nisa, E. K., Jatmiko, B., & Koestiari, T. (2018). Development of guided inquiry-based physics teaching materials to increase critical thinking skills of highschool students. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 14(1), 18-25.
- Nugraha, A. J., Suyitno, H., & Susilaningsih, E. (2017). Analisis kemampuan berpikir kritis ditinjau dari keterampilan proses sains dan motivasi belajar melalui model PBL. *Journal of Primary Education*, 6(1), 35-43.
- Pllana, D. (2019). Creativity in Modern Education. *World Journal of Education*, 9(2), 136-140.
- Pramuji, L., Permanasari, A., & Ardianto, D. (2020). Multimedia interaktif berbasis stem pada konsep pencemaran lingkungan untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Journal of Science Education and Practice*, 2(1), 1-15.
- Puspita, A. S., & Aloysius, S. (2019). Developing student's critical thinking skills through implementation of problem based learning approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 1241 (1), 012020.
- Rahmawati, Y., Afrizal, A., Dwi Astari, D., Mardiah, A., Budi Utami, D., & Muhab, S. (2021). The integration of dilemmas stories with STEM-project-based learning: Analyzing students' thinking

- skills using Hess' cognitive rigor matrix. *JOTSE: Journal of Technology and Science Education*, 11(2), 419-439.
- Santangelo, J., Hobbie, L., Lee, J., Pullin, M., Villa-Cuesta, E., & Hyslop, A. (2021). The (STEM) 2 Network: A multi-institution, multidisciplinary approach to transforming undergraduate STEM education. *International journal of STEM education*, 8, 1-15.
- Santoso, S. H., & Mosik, M. (2019). Kefektifan LKS berbasis STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematic) untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa pada pembelajaran fisika SMA. *UPEJ Unnes Physics Education Journal*, 8(3), 248-253.
- Seage, S. J., & Türegün, M. (2020). The Effects of Blended Learning on STEM Achievement of Elementary School Students. *International Journal of Research in Education and Science*, 6(1), 133-140.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Susyala, D., & Syofiana, M. (2019). Developing students critical thinking ability through lesson study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320 (1) 012005.
- Sundayana, R. (2018). *Statistika Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Tanti, T., Astalini, A., Kurniawan, D. A., Darmaji, D., Puspitasari, T. O., & Wardhana, I. (2021). Attitude for Physics: The Condition of High School Students. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 17(2), 126-132.
- Widoyoko, E. P. (2015). *Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Trihendradi, C. (2013). *Step by Step IBM SPSS 21: Analisis Data Statistik*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. John Wiley & Sons.
- UNESCO (2015). *Incheon Declaration and SDGE – Education 2030 Framework for Action*. UNESCO Institute for Statistics
- Yulianti, D., Rusilowati, A., Nugroho, S. E., & Pangesti, K. I. (2019). Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) based learning of physics to develop senior high school student's critical thinking. *Journal of Physics: Conference Series*, 1321 (2), 022029.
- Yulianti, D., & Anjani, D. (2020). Implementing physical learning based on momentum and impulse stem materials to develop collaboration skills. *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 25(1), 27-32.
- Yulianti, D., Rusilowati, A., & Nugroho, S. E. (2020). Physics Teaching Materials Based on Science Technology Engineering and Mathematics to Develop Communication and Collaboration Skills. In *International Conference on Science and Education and Technology (ISET 2019)* (pp. 445-449). Atlantis Press.