MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i2.4968

PENGEMBANGAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS SISWA MELALUI PELATIHAN KIMIA KOMPUTASI MENGGUNAKAN AVOGADRO DAN CHEMDRAW DI SMAN 3 BANJAR

Developing Students' Critical Thinking Skills Through Computational Chemistry Training Using Avogadro and ChemDraw at SMAN 3 Banjar

Thoriq[1], Rizky Sri Rahayu[2], Zidhan Firdaus Ramdhani[3], Thayyibah Sarirah[4]
[1,2,3]Institut Teknologi Bandung; [4]Universitas Negeri Padang
tbrothers150@gmail.com; 20524018@mahasiswa.itb.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jan 16, 2025	Jan 28, 2025	Feb 9, 2025	Feb 14, 2025

Abstract

Critical thinking skills are essential competencies that students must possess to face the challenges of the Industry 5.0 era. One innovative method to develop these skills is through computational chemistry training using Avogadro and ChemDraw software. This study aims to evaluate the effectiveness of computational chemistry training in enhancing students' critical thinking skills at SMAN 3 Banjar. The research employed an experimental approach, where students received direct instruction on fundamental chemistry concepts using Avogadro and ChemDraw. The topics covered included chemical compound nomenclature, bond length, bond angles, and molecular geometry optimization. Following the training, students were tasked with analyzing the geometry and nomenclature of simple molecules visualized through the software, linking their observations to previously learned chemistry concepts. The results indicate that the training significantly improved students understanding of molecular geometry and chemical compound nomenclature. Computational-based learning also proved to be more interactive and effective in fostering students' interest and critical

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

thinking skills in understanding chemistry concepts. Based on the questionnaire results, 95% of students reported a high level of satisfaction with the materials and teaching methods applied. Thus, computational chemistry training using Avogadro and ChemDraw serves as an effective instructional strategy for enhancing students' critical thinking skills and preparing them to face technology-based learning challenges. This study is expected to serve as a reference for developing innovative teaching methods in chemistry education.

Keywords: Avogadro; ChemDraw; Innovative; Computational; Chemistry; Molecul

Abstrak: Kemampuan berpikir kritis merupakan keterampilan esensial yang harus dimiliki oleh peserta didik dalam menghadapi tantangan era Industri 5.0. Salah satu metode inovatif untuk mengembangkan keterampilan ini adalah melalui pelatihan kimia komputasi berbasis perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pelatihan kimia komputasi dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa di SMAN 3 Banjar. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental, siswa diberikan pembelajaran langsung mengenai konsep kimia dasar dengan bantuan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw. Materi yang diajarkan mencakup tata nama senyawa kimia, panjang ikatan, sudut ikatan, serta optimasi geometri molekul. Setelah pelatihan, siswa diminta untuk menganalisis geometri dan tata nama molekul sederhana yang divisualisasikan, dengan mengaitkannya pada konsep kimia yang telah dipelajari di kelas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelatihan ini secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep geometri molekul dan tata nama senyawa. Pembelajaran berbasis komputasi juga terbukti lebih interaktif dan efektif dalam menumbuhkan minat serta keterampilan berpikir kritis siswa dalam memahami konsep kimia. Berdasarkan hasil kuesioner, sebanyak 95% siswa menyatakan kepuasan tinggi terhadap materi dan metode pembelajaran yang diterapkan. Dengan demikian, pelatihan kimia komputasi menggunakan Avogadro dan ChemDraw dapat menjadi strategi pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa serta mempersiapkan mereka menghadapi tantangan pembelajaran berbasis teknologi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi inovasi bagi pengembangan metode pembelajaran inovatif di bidang pendidikan kimia.

Kata Kunci: Avogadro; ChemDraw; Inovasi; Komputasi; Kimia; Molekul

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam era Industri 5.0 menuntut dunia pendidikan untuk mengadaptasi metode pembelajaran yang inovatif guna meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa (Frolova et al., 2022). Transformasi ini tidak hanya mengubah cara informasi disajikan, tetapi juga bagaimana siswa berinteraksi dengan konsep-konsep ilmiah secara lebih mendalam. Berpikir kritis menjadi kompetensi yang sangat penting dalam pembelajaran sains, terutama dalam bidang kimia, karena memungkinkan siswa untuk menganalisis, mengevaluasi, serta menyelesaikan masalah berbasis data dan konsep ilmiah (Facione, 2011).

Kemampuan ini tidak hanya berperan dalam memahami teori kimia tetapi juga dalam menerapkannya untuk memecahkan permasalahan nyata, seperti analisis reaksi kimia, pemodelan struktur molekul, dan prediksi sifat material. Salah satu strategi yang dapat diterapkan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis adalah dengan menerapkan kimia komputasi sebagai bagian dari pendekatan pembelajaran modern (Zhou et al., 2021).

Kimia komputasi merupakan bidang yang mengintegrasikan prinsip-prinsip kimia dengan metode komputasi untuk memodelkan dan menganalisis sistem molekuler (Prianto, 2010). Pemanfaatan perangkat lunak seperti Avogadro dan ChemDraw memungkinkan siswa untuk memvisualisasikan struktur molekul, memahami panjang ikatan, sudut ikatan, serta optimasi geometri molekul, yang sulit dipahami hanya melalui teori (Hanwell et al., 2012). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak berbasis kimia komputasi dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep kimia serta mendorong keterampilan berpikir analitis (Gilbert, 2020). Selain itu, pembelajaran berbasis teknologi terbukti efektif dalam meningkatkan motivasi belajar (Tamrin & Masykuri, 2024). Berbagai inovasi telah dikembangkan, seperti penggunaan Canva dalam pembelajaran (Rahmawati et al., 2024), teknologi untuk meningkatkan literasi digital siswa sekolah dasar (Resti et al., 2024) (Nirmala et al., 2024), serta media pembelajaran berbasis teknologi di perguruan tinggi (Wiliyanti et al., 2024) (Deviv et al., 2024) (Cahyaningrum et al., 2024).

Dalam konteks pendidikan menengah, penerapan kimia komputasi masih tergolong metode baru dan belum banyak diintegrasikan secara optimal dalam kurikulum. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi efektivitas pelatihan kimia komputasi menggunakan Avogadro dan ChemDraw dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa di SMAN 3 Banjar. Melalui penelitian ini, diharapkan bahwa pendekatan berbasis teknologi dalam pembelajaran kimia dapat menjadi metode yang efektif dalam meningkatkan kualitas pendidikan sains di tingkat sekolah menengah.

METODE

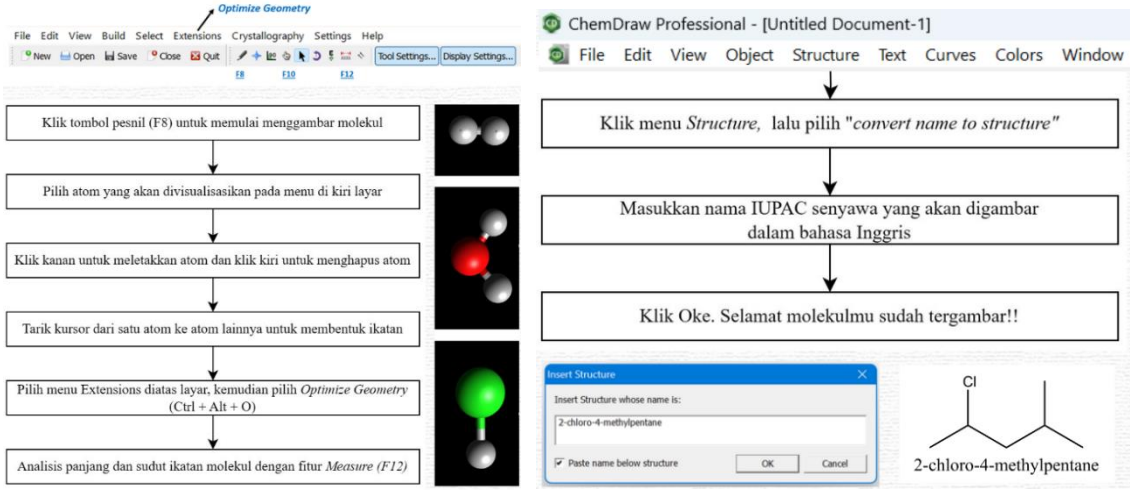
Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus, yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pelatihan kimia komputasi dalam meningkatkan pemahaman konsep kimia sederhana serta keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian dilakukan dalam bentuk pengabdian masyarakat oleh himpunan mahasiswa jurusan kimia Institut Teknologi Bandung, pada Agustus 2023 di SMAN 3 Banjar, dengan

sasaran penelitian sebanyak 53 siswa yang terdiri dari siswa kelas XI dan XII yang dipilih secara purposive sampling berdasarkan ketertarikan mereka terhadap pelajaran kimia dan ketersediaan fasilitas komputer.

Data dikumpulkan melalui pelatihan langsung menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw, yang mencakup pemaparan materi, praktik penggunaan perangkat lunak, serta sesi tanya jawab interaktif untuk mengeksplorasi pemahaman siswa terhadap konsep kimia, seperti tata nama senyawa, panjang ikatan, sudut ikatan, dan optimasi geometri molekul. Selain itu, data juga diperoleh melalui survei dan kuesioner, yang berisi tiga aspek utama: pemahaman siswa terhadap materi, tingkat kepuasan siswa terhadap metode pelatihan, dan kebermanfaatan pelatihan dalam mendukung pembelajaran kimia.

Dalam penelitian ini, perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw terlebih dahulu diinstal pada komputer di laboratorium sekolah untuk memastikan kesiapan teknis sebelum pelaksanaan pelatihan. Selanjutnya, dilakukan presentasi pendahuluan yang memaparkan konsep-konsep dasar kimia yang relevan, seperti tata nama senyawa, geometri molekul, panjang ikatan, dan sudut ikatan, menggunakan proyektor sebagai media visualisasi. Siswa mengikuti instruksi yang diberikan secara sistematis, dengan bimbingan langsung dari peneliti untuk memastikan pemahaman dan keterampilan dalam mengoperasikan perangkat lunak. Selain itu, peneliti berperan dalam mengawasi, membimbing, serta memberikan arahan dan bantuan teknis kepada siswa selama sesi praktik. Gambar 1 merupakan tahapan sederhana penggunaan Avogadro dan ChemDraw yang didemonstrasikan serta diaplikasikan secara langsung oleh siswa dalam pelatihan ini.

Peneliti berperan sebagai fasilitator yang secara langsung membimbing siswa dalam menggunakan perangkat lunak serta mengamati proses pembelajaran. Untuk mengukur efektivitas pelatihan, dilakukan survei dan kuesioner yang mencakup tiga aspek utama, yaitu pemahaman siswa terhadap materi, tingkat kepuasan siswa terhadap metode pelatihan, dan kebermanfaatan pelatihan dalam mendukung pembelajaran kimia. Data yang diperoleh dari survei dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk mengidentifikasi tren pemahaman siswa serta efektivitas metode yang digunakan. Hasil kuesioner kemudian dikaji untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan pelatihan dan memberikan rekomendasi bagi pengembangan metode pembelajaran kimia berbasis teknologi di masa depan.



Gambar 1. Tahapan penggunaan Avogadro (kiri); tahapan penggunaan ChemDraw (kanan)

HASIL

Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data berdasarkan observasi langsung di kelas, wawancara dengan siswa, dan pengisian kuesioner. Hasil observasi selama pembelajaran yang diperoleh menunjukkan antusiasme tinggi terhadap para siswa yang mengikuti kegiatan pelatihan dalam menggambarkan dan mengeksplorasi berbagai visualisasi molekul kimia menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw. Selain itu, mereka secara aktif terlibat dalam sesi diskusi dengan mengajukan serta menjawab berbagai pertanyaan terkait konsep-konsep teori yang mendukung pembelajaran kimia dalam visualisasi molekul menggunakan Avogadro dan ChemDraw. Partisipasi aktif ini mencerminkan kemampuan berpikir kritis siswa serta melatih kreativitas mereka dalam menganalisis geometri molekul dan tata nama senyawa kimia. Suasana laboratorium komputer SMAN 3 Banjar selama pelatihan berlangsung terasa interaktif dan menyenangkan, menciptakan lingkungan belajar yang lebih dinamis dibandingkan metode konvensional. Penggunaan perangkat lunak kimia komputasi sederhana seperti Avogadro dan ChemDraw terbukti mampu mengubah persepsi siswa terhadap mata pelajaran kimia, yang sebelumnya dianggap sulit dan kurang menarik, menjadi pengalaman belajar yang lebih menyenangkan dan eksploratif. Setelah kegiatan pelatihan selesai, wawancara dilakukan terhadap beberapa siswa untuk mengevaluasi pengalaman mereka selama pembelajaran. Hasil wawancara menunjukkan bahwa seluruh siswa yang diwawancarai memberikan tanggapan positif, menyatakan bahwa mereka merasa lebih tertarik dan termotivasi dalam mempelajari kimia melalui pendekatan yang lebih interaktif.

Untuk mengevaluasi pemahaman siswa terhadap konsep yang dipelajari selama pelatihan, dilakukan wawancara terhadap lima siswa yang dipilih secara acak. Wawancara ini bertujuan untuk menilai pemahaman mereka mengenai geometri molekul dan tata nama senyawa berdasarkan materi yang telah dipraktikkan menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw. Dalam wawancara, siswa diminta untuk:

1. Menjelaskan geometri molekul dari beberapa senyawa yang telah mereka gambarkan selama pelatihan.
2. Menyebutkan dan menjelaskan nama IUPAC dari senyawa yang ditampilkan di papan tulis.
3. Mengungkapkan pengalaman mereka selama mengikuti pelatihan.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa kelima siswa mampu menjawab semua pertanyaan dengan baik dan akurat, menunjukkan pemahaman yang memadai terhadap konsep yang diajarkan. Selain itu, siswa juga menyatakan bahwa mereka merasa senang dan termotivasi selama mengikuti pelatihan. Observasi terhadap siswa lain dalam kelas juga menunjukkan antusiasme yang tinggi, ditandai dengan partisipasi aktif dalam bertanya dan berdiskusi mengenai materi yang disampaikan. Temuan ini memberikan indikasi kualitatif bahwa metode pembelajaran berbasis kimia komputasi secara interaktif menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw dapat meningkatkan pemahaman konsep geometri molekul dan tata nama senyawa secara interaktif dan efektif.

Selanjutnya, agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif secara kuantitatif dan kualitatif terkait pemahaman siswa terkait materi komputasi yang disampaikan serta efektivitas pembelajaran kimia komputasi menggunakan Avogadro dan Chemdraw dilakukan penyebaran kuesioner. Adapun beberapa pertanyaan yang diajukan adalah sebagai berikut.

1. Sebelum diadakan pelatihan ini, apakah kamu sudah mengenal perangkat lunak Avogadro atau ChemDraw? (Ya/Tidak)
2. Apakah pelatihan ini membantu kamu memahami konsep kimia dengan lebih baik? (Ya/Tidak)
3. Apakah dengan pembelajaran dengan metode kimia komputasi yang interaktif dapat meningkatkan motivasi kamu dalam memperlajari kimia? (skala 1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak termotivasi, 2 = cukup termotivasi, 3 = termotivasi, 4 = sangat termotivasi).

4. Seberapa besar pelatihan ini meningkatkan keterampilan berpikir kritis kamu dalam memahami konsep kimia? (skala 1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak meningkat, 2 = cukup meningkat, 3 = dapat meningkat, 4 = sangat meningkat).
5. Seberapa senang kamu dengan diadakannya kegiatan pelatihan penggunaan perangkat lunak berbasis sains seperti Avogadro dan ChemDraw di sekolahmu? ? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak senang, 2 = cukup senang, 3 = senang, 4 = sangat senang).
6. Apakah kamu merasa lebih mudah dalam menganalisis informasi dan menyelesaikan masalah yang diberikan? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = sangat sulit, 2 = cukup mudah, 3 = mudah, 4 = lebih mudah).
7. Apakah penggunaan Avogadro dan ChemDraw membantu memudahkan kamu dalam memahami struktur dan tata nama senyawa kimia? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = sangat sulit, 2 = cukup mudah, 3 = mudah, 4 = lebih mudah).
8. Seberapa paham kamu dengan materi komputasi yang diajarkan? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak paham, 2 = cukup paham, 3 = paham, 4 = sangat paham).
9. Seberapa senang kamu terhadap cara pembawaan materi komputasi oleh fasilitator? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak senang, 2 = cukup senang, 3 = senang, 4 = sangat senang).
10. Apakah kamu merasa materi komputasi yang diberikan bisa bermanfaat untuk kamu? (1 sampai 4 dengan keterangan 1 = tidak bermanfaat, 2 = cukup bermanfaat, 3 = bermanfaat, 4 = sangat bermanfaat).

Kuesioner tersebut dapat diisi dengan jawaban ya atau tidak serta rentang pilihan dari 1 sampai 4 dengan keterangan tertentu oleh siswa SMAN 3 Banjar yang mengikuti pembelajaran kimia komputasi menggunakan Avogadro dan ChemDraw. Siswa tersebut berjumlah 53 orang yang terdiri dari kelas XI dan kelas XII.

PEMBAHASAN

Secara etimologis, kata "kritis" berasal dari bahasa Yunani yang berarti "hakim", kemudian diadopsi ke dalam bahasa Latin. Menurut *Oxford Dictionary*, istilah "kritis" diterjemahkan sebagai "sensor" atau "pencarian kesalahan". Dalam penggunaannya, istilah ini sering dikaitkan dengan penilaian, baik dalam konteks positif maupun negatif. Namun, pemahaman yang terbatas ini justru dapat melemahkan esensi utama berpikir kritis, yang

sejatinya lebih dari sekadar menilai, tetapi juga mencakup analisis mendalam, evaluasi logis, serta refleksi rasional terhadap suatu gagasan atau informasi (Juhji & Suardi, 2018) (Riyanto et al., 2024).

Kemampuan berpikir kritis adalah keterampilan kognitif yang memungkinkan seseorang untuk menganalisis, mengevaluasi, dan menafsirkan informasi dan data secara logis dan objektif untuk menarik sebuah kesimpulan. Kemampuan ini melibatkan proses berpikir yang sistematis, seperti mengidentifikasi argumen yang valid, membedakan fakta dari opini, serta mengenali bias atau kesalahan logika dalam suatu pernyataan (Saputra, 2020) (Pratama et al., 2024). Berpikir kritis juga mencakup keterampilan reflektif, di mana seseorang mempertimbangkan berbagai sudut pandang dan bukti yang ada sebelum membentuk opini yang matang. Dalam kehidupan sehari-hari, kemampuan ini sangat penting dalam pengambilan keputusan, pemecahan masalah, dan menilai keabsahan suatu informasi, terutama di era digital yang dipenuhi dengan berbagai sumber informasi yang belum tentu kredibel (Prasetiyo & Rosy, 2021) (Rasyidi, 2024). Dengan berpikir kritis, seseorang dapat mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam, meningkatkan kualitas pemecahan masalah, serta menjadi individu yang lebih mandiri dalam berpikir dan bertindak.

Kemampuan berpikir kritis merupakan keterampilan fundamental yang harus dimiliki oleh siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) dalam menghadapi tantangan pembelajaran di era digital dan Industri 5.0. Berpikir kritis memungkinkan siswa untuk menganalisis informasi secara objektif, mengevaluasi argumen berdasarkan bukti yang valid, serta mengembangkan solusi yang logis terhadap permasalahan yang dihadapi (Facione, 2011) (Sholeh et al., 2024). Di dalam pembelajaran sains, khususnya kimia, berpikir kritis sangat penting dalam memahami konsep abstrak, menafsirkan data eksperimen, serta menghubungkan teori dengan fenomena yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari (Ennis, 2018) (Yuliati & Susianna, 2023). Selain itu, siswa yang memiliki kemampuan berpikir kritis yang baik cenderung lebih mandiri dalam belajar, memiliki daya nalar yang lebih kuat, serta mampu mengambil keputusan yang lebih rasional (Mardarani & Apriyono, 2023).

Menurut Khasanah dan Ayu, kemampuan berpikir kritis dapat diidentifikasi melalui beberapa indikator utama yang mencerminkan keterampilan analitis dan evaluatif seseorang dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Indikator pertama adalah kemampuan merumuskan pokok permasalahan, yang mengacu pada kecakapan dalam mengidentifikasi inti dari suatu isu serta memahami konteksnya secara mendalam. Selanjutnya, individu yang

berpikir kritis harus mampu mengelola fakta yang tersedia secara sistematis untuk merumuskan solusi yang efektif dan berbasis bukti. Selain itu, berpikir kritis juga ditandai dengan kemampuan untuk membuat argumen secara logis, relevan, dan akurat, yang berarti bahwa seseorang harus mampu menyusun pernyataan berdasarkan analisis mendalam serta mendukungnya dengan bukti yang valid. Lebih lanjut, individu dengan keterampilan berpikir kritis dapat mengembangkan strategi penyelesaian masalah yang melibatkan berbagai alternatif solusi, sehingga tidak hanya terpaku pada satu pendekatan saja. Indikator terakhir adalah kemampuan mempertimbangkan risiko dari suatu keputusan, yang menuntut seseorang untuk mengevaluasi konsekuensi dari pilihan yang diambil serta mengantisipasi dampak yang mungkin terjadi. Dengan demikian, berpikir kritis bukan sekadar menilai suatu informasi secara pasif, tetapi juga melibatkan proses analisis, sintesis, dan evaluasi untuk menghasilkan keputusan yang rasional dan tepat (Khasanah et al., 2022).

Dalam konteks pembelajaran di SMA, berpikir kritis juga berperan penting dalam mengasah keterampilan pemecahan masalah, terutama dalam mata pelajaran berbasis sains yang menuntut analisis mendalam terhadap data dan fenomena alam (Zohar & Dori, 2011). Pendekatan berbasis teknologi, seperti penggunaan perangkat lunak kimia komputasi, dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan keterampilan ini karena memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi konsep secara interaktif dan berbasis bukti (Lestari & Annizar, 2020). Dengan demikian, pengembangan berpikir kritis melalui berbagai metode pembelajaran inovatif menjadi hal yang esensial dalam menyiapkan siswa untuk menghadapi tantangan akademik maupun profesional di masa depan.

Berpikir kritis memiliki kaitan yang erat dengan literasi sains. Terutama dalam membangun pola pikir analitis yang diperlukan untuk memahami, mengevaluasi, dan mengaplikasikan konsep sains dalam kehidupan sehari-hari (Thoriq et al., 2024) (Rusmiyati et al., 2024). Literasi sains mengacu pada kemampuan individu dalam memahami prinsip-prinsip ilmiah, menginterpretasikan data, serta menerapkan metode ilmiah dalam menyelesaikan masalah (OECD, 2019). Sementara itu, berpikir kritis adalah keterampilan yang memungkinkan seseorang untuk menganalisis informasi, mengidentifikasi asumsi, mengevaluasi bukti, dan menarik kesimpulan secara logis (Agnafia, 2019). Dalam konteks pembelajaran sains, berpikir kritis berperan dalam membantu siswa memahami konsep-konsep ilmiah secara lebih mendalam, mengevaluasi validitas suatu klaim berdasarkan bukti empiris, serta mengembangkan solusi inovatif terhadap permasalahan yang dihadapi

(Zubaedi, 2020) (Unwakoly, 2022). Dengan kata lain, tanpa berpikir kritis, literasi sains hanya akan menjadi sekadar pemahaman teoretis tanpa kemampuan analisis yang mendalam.

Selain itu, kemampuan berpikir kritis juga dapat diasah dengan kemampuan komputasi. Hal tersebut karena dalam kemampuan komputasi, seseorang dilatih dalam pengembangan analisis data, pemecahan masalah, serta pengambilan keputusan berbasis logika (Fitriani et al., 2021). Dalam dunia modern yang semakin terdigitalisasi, komputasi berperan penting dalam memproses informasi secara efisien dan akurat, sementara berpikir kritis memastikan bahwa proses komputasi tersebut didasarkan pada penalaran yang logis dan valid (Wing, 2016). Berpikir kritis dalam komputasi mencakup keterampilan menganalisis algoritma, mengidentifikasi pola, mengevaluasi keakuratan data, serta membuat keputusan berdasarkan pemrosesan informasi yang sistematis. Untuk mengasah kemampuan berpikir kritis siswa, metode pembelajaran inovatif yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan perkembangan teknologi (Hertina et al., 2024).

Dalam bidang sains dan pendidikan, pemanfaatan komputasi dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis dengan menyediakan alat untuk memvisualisasikan konsep kompleks, mensimulasikan skenario berbasis data, serta menguji hipotesis secara lebih efisien (Setyautami, 2021). Dalam pembelajaran kimia komputasi, perangkat lunak seperti Avogadro dan ChemDraw memungkinkan siswa untuk menganalisis struktur molekul secara interaktif, sehingga mereka dapat mengevaluasi hubungan antara geometri molekul, energi, dan sifat kimia suatu senyawa. Proses ini menuntut mereka untuk menggunakan keterampilan berpikir kritis dalam menafsirkan data, membandingkan hasil simulasi dengan teori, serta menyusun argumen berdasarkan bukti ilmiah.

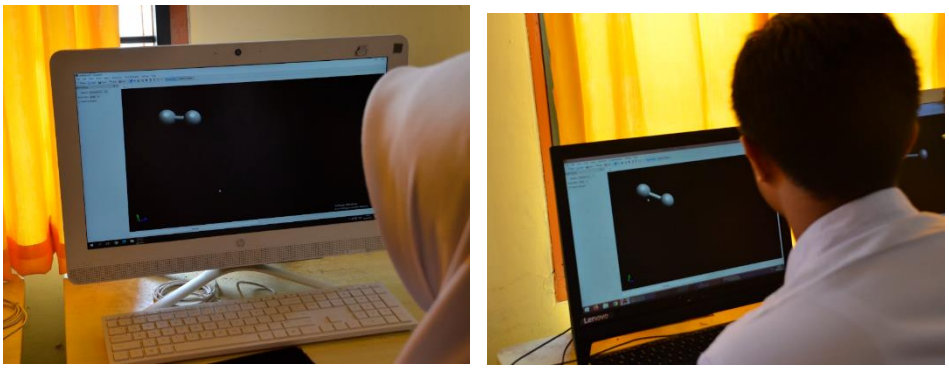
Selain itu, konsep *computational thinking* (pemikiran komputasional) yang diperkenalkan oleh Wing menegaskan bahwa berpikir kritis dalam komputasi tidak hanya terbatas pada pemrograman atau analisis algoritma, tetapi juga mencakup kemampuan untuk merumuskan masalah secara abstrak, menyusun solusi dengan pendekatan logis, serta mengevaluasi efektivitas suatu metode dalam menyelesaikan masalah nyata (Brennan & Resnick, 2012). Dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk sains, ekonomi, dan teknik, pemikiran komputasional membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih berbasis bukti dan analitis. Dengan demikian, berpikir kritis dalam komputasi tidak hanya meningkatkan keterampilan analitis dan pemecahan masalah, tetapi juga membekali individu dengan kemampuan untuk menavigasi kompleksitas informasi, mengevaluasi solusi berbasis

teknologi, serta mengembangkan inovasi yang lebih efektif dan efisien dalam berbagai bidang. Oleh karena itu, dalam upaya meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa di SMA 3 Banjar, penelitian ini menerapkan pelatihan dengan menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw, yang merupakan alat bantu berbasis sains yang umum digunakan dalam bidang kimia. Penggunaan perangkat lunak ini diharapkan dapat membantu siswa dalam memvisualisasikan struktur molekul dan memahami konsep kimia secara lebih mendalam, sehingga dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis mereka.

Avogadro adalah perangkat lunak pemodelan molekul open-source yang banyak digunakan dalam kimia komputasi untuk memvisualisasikan, membangun, dan menganalisis struktur molekul (Hayati et al., 2023). Salah satu fitur utama Avogadro adalah optimasi geometri, yang memungkinkan pengguna untuk memperoleh struktur molekul dalam keadaan energi terendah menggunakan algoritma mekanika molekul. Proses ini membantu dalam memahami konformasi molekul yang paling stabil dan relevan secara eksperimental (Hanwell et al., 2012). Selain itu, Avogadro dapat digunakan untuk analisis sudut ikatan, di mana pengguna dapat mengukur dan mengevaluasi sudut antara tiga atom dalam suatu molekul. Informasi ini sangat penting dalam memahami interaksi antaratom dan sifat geometri suatu senyawa, terutama dalam bidang farmasi dan material (Shibata, 2020). Selain sudut ikatan, Avogadro juga menyediakan fitur analisis panjang ikatan, yang memungkinkan pengguna untuk menentukan jarak antara dua atom dalam suatu molekul. Data ini berperan dalam mengevaluasi kekuatan ikatan serta membandingkan hasil simulasi dengan nilai eksperimen (Snyder & Kucukkal, 2021). Dengan kemampuannya dalam optimasi geometri, analisis sudut ikatan, dan analisis panjang ikatan, Avogadro menjadi alat yang esensial dalam pendidikan dan penelitian kimia, membantu siswa dan ilmuwan dalam memahami hubungan antara struktur molekul dan sifat kimianya secara lebih mendalam.

Dalam menggunakan perangkat lunak Avogadro yang sudah diinstal di laboratorium komputer SMAN 3 Banjar, siswa diminta untuk menggambarkan beberapa molekul sederhana seperti gas hidrogen (H_2) air (H_2O), asam klorida (HCl), karbon doksida (CO_2), serta metana (CH_4). Kemudian dijelaskan beberapa teori yang berkaitan dengan visualisasi molekul yang mereka peroleh pada perangkat lunak Avogadro tersebut. Kemudian diminta untuk menganalisis jenis ikatan yang terjadi serta geometri molekul yang mereka gambarkan. Sebanyak 53 siswa yang mengikuti pelatihan ini terlihat sangat antusias dan mampu menjelaskan secara sederhana terkait visualisasi geometri yang mereka gambarkan

menggunakan perangkat lunak avogaro. Gambar 2 berikut ini merupakan proses pembelajaran menggunakan perangkat lunak Avogadro.



Gambar 2. Pembelajaran menggambarkan molekul sederhana menggunakan Avogadro di SMAN 3 Banjar.

Selain perangkat lunak Avogadro, pada penelitian ini juga dilakukan demonstrasi dan pengaplikasian langsung penggunaan perangkat lunak ChemDraw. ChemDraw adalah perangkat lunak pemodelan dan ilustrasi struktur kimia yang banyak digunakan dalam bidang kimia untuk menggambar dan menganalisis senyawa (Hassan et al., 2022). Salah satu fitur unggulannya adalah kemampuannya dalam menentukan dan mengonversi tata nama senyawa secara otomatis sesuai dengan aturan IUPAC. Dengan hanya menggambar struktur molekul, pengguna dapat memperoleh nama sistematis senyawa secara instan, yang sangat membantu dalam pembelajaran dan penelitian kimia organik. Selain itu, ChemDraw juga memungkinkan konversi sebaliknya, yaitu dari nama senyawa menjadi struktur kimianya, sehingga mempermudah identifikasi dan pemahaman terhadap berbagai senyawa kimia. Kemampuan ini menjadikan ChemDraw sebagai alat yang sangat berguna dalam meningkatkan pemahaman siswa dan peneliti terhadap tata nama senyawa kimia secara akurat dan efisien (Brown, 2014) (Novitasari, 2022).

Dalam penelitian ini, siswa diberikan tugas untuk menentukan nama IUPAC dari berbagai senyawa kimia sederhana yang dipelajari di tingkat SMA, khususnya dari kelompok alkana, alkena, dan alkuna. Selain itu, mereka juga diminta untuk memvisualisasikan struktur molekul berdasarkan nama IUPAC yang telah ditentukan. Kegiatan ini dirancang untuk melatih kemampuan berpikir kritis siswa dalam menganalisis sistem tata nama senyawa kimia serta memahami hubungan antara struktur molekul dan nomenklatur yang sesuai. Pendekatan pembelajaran berbasis visual ini tidak hanya membuat proses belajar lebih interaktif dan menarik dibandingkan dengan metode konvensional berbasis buku teks, tetapi

juga mendorong pengembangan kreativitas dan imajinasi siswa dalam mengeksplorasi berbagai bentuk molekul. Hasil kuesioner tersebut dapat diisi dengan jawaban ya atau tidak serta rentang pilihan dari 1 sampai 4 dengan keterangan tertentu oleh siswa SMAN 3 Banjar yang mengikuti pembelajaran kimia komputasi menggunakan Avogadro dan ChemDraw. Siswa tersebut berjumlah 53 orang yang terdiri dari kelas XI dan kelas XII. Hasil dari kuesioner yang diberikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Table 1. Kuesioner jawaban pertanyaan dan skala kepuasan pelaksanaan kegiatan

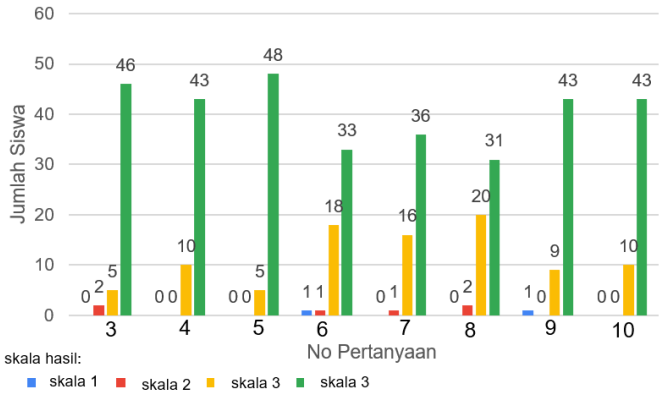
No. Pertanyaan	Jawaban kuesioner (%)			
	Ya		Tidak	
1	0,0		100,0	
2	100,0		0,0	
No. Pertanyaan	**Jawaban kuesioner (%)**			
	Skala 4	**Skala 3**	**Skala 2**	**Skala 1**
3	86,8	9,4	3,8	0,0
4	81,1	18,9	0,0	0,0
5	90,6	9,4	0,0	0,0
6	62,3	34	1,9	1,9
7	67,9	30,2	1,9	0,0
8	58,5	37,7	3,8	0,0
9	81,1	17	1,9	0,0
10	81,1	18,9	0	0,0

Begitupula hasil observasi menunjukkan bahwa siswa menunjukkan antusiasme yang tinggi dalam mengikuti kegiatan ini, terutama dalam mengeksplorasi dan menggambarkan struktur berbagai senyawa kimia baru yang mereka pelajari. Gambar 3 merupakan suasana laboratorium komputer SMAN 3 Banjar selama kegiatan pembelajaran menggunakan perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw.



Gambar 3. Suasana laboratorium komputer SMAN 3 Banjar selama pembelajaran menggunakan Avogadro dan ChemDraw.

Berdasarkan hasil pengisian kuesioner yang dapat dilihat pada Tabel 1, untuk pertanyaan pertama terlihat bahwa 100% atau 53 orang siswa SMAN 3 Banjar yang mengikuti kegitan, sebelumnya tidak mengenal perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw. Untuk pertanyaan kedua, diperoleh hasil bahwa 100% siswa SMAN 3 Banjar merasa lebih mudah atau terbantu dalam memahami konsep dasar kimia menggunakan pendekatan pembelajaran interaktif kimia komputasi. Selanjutnya, untuk pertanyaa no 3 sampai 10, sebagian besar siswa mengisi skala kepuasan 3 dan 4. Dari semua pertanyaan, pengisian skala 3 dan 4 memiliki persentase total di atas 95%. Sedangkan skala 1 dan 2 hanya diperoleh skala tertinggai yaitu 3,8% yang berarti diisi oleh hanya satu atau dua orang. Masing-masing pertnayaan memiliki deskripsi yang berbeda, tetapi setiap pertanyaan memberikan hasil positif terhadap efektivitas metode pembelajaran menggunakan Avogadro dan ChemDraw dalam membantu siswa dalam berpikir kritis dan memahami konsep molekul kimia sederhana. Untuk lebih jelasnya, hasil kuesioner tersebut disajikan dalam diagram batang pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Hasil kuesioner pertanyaan untuk nomor 3 sampai nomor 10

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 4, hasil survei menunjukkan bahwa pada pertanyaan nomor 3, sebanyak 46 siswa (86,8%) dari SMAN 3 Banjar merasa lebih termotivasi dalam mempelajari kimia setelah mengikuti pelatihan ini. Temuan ini mengindikasikan bahwa metode pembelajaran yang interaktif dan tidak monoton memiliki efektivitas tinggi dalam meningkatkan minat siswa terhadap kimia. Selanjutnya, berdasarkan pertanyaan nomor 4, mayoritas siswa menyatakan bahwa pelatihan dengan menggunakan Avogadro dan ChemDraw dapat mengasah rasa ingin tahu serta kemampuan berpikir kritis mereka. Hal ini sejalan dengan hasil observasi selama pelatihan, di mana siswa tampak aktif mengeksplorasi visualisasi berbagai senyawa baru secara kreatif menggunakan perangkat lunak tersebut.

Selain itu, 90,6% siswa menyatakan kepuasan dan kegembiraan mereka terhadap pelaksanaan pelatihan ini di sekolah.

Pada pertanyaan nomor 6, 7, dan 8, yang berfokus pada efektivitas pelatihan dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis, diperoleh hasil yang cukup positif. Sebanyak 60% siswa melaporkan bahwa mereka lebih mudah memahami dan menganalisis informasi, khususnya terkait geometri molekul dan tata nama senyawa, sementara lebih dari 30% siswa juga merasakan manfaat serupa dalam memahami konsep tersebut.

Untuk pertanyaan nomor 9, lebih dari 80% siswa menyatakan kepuasan mereka terhadap cara penyampaian materi oleh fasilitator. Hal ini menunjukkan bahwa gaya pembelajaran yang menarik dan komunikatif menjadi salah satu faktor kunci dalam keberhasilan kegiatan ini, sehingga siswa merasa lebih nyaman dan tertarik untuk belajar kimia melalui pendekatan kimia komputasi. Sementara itu, pertanyaan nomor 10 menggambarkan tingkat kebermanfaatan materi yang disampaikan selama pelatihan. Hasil survei menunjukkan bahwa lebih dari 80% siswa merasa bahwa materi yang diberikan sangat bermanfaat bagi pemahaman mereka terhadap konsep kimia.

Berdasarkan Gambar 4, mayoritas siswa memberikan penilaian kepuasan dan tingkat pemahaman terhadap kegiatan pelatihan dalam skala 3 dan 4 (dari skala 1–4). Hasil ini mengindikasikan bahwa metode yang interaktif dengan menggunakan Avogadro dan ChemDraw sebagai metode pembelajaran berbasis komputasi sangat efektif dalam meningkatkan motivasi belajar, kemampuan berpikir kritis, serta pemahaman siswa terhadap materi yang diajarkan. Dengan demikian, pembelajaran yang interaktif dan inovatif menjadi faktor utama dalam mendukung ketercapaian tujuan pendidikan yang lebih efektif dan menarik bagi siswa.

KESIMPULAN

Pelatihan kimia komputasi menggunakan Avogadro dan ChemDraw terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa di SMAN 3 Banjar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis komputasi ini tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep geometri molekul dan tata nama senyawa, tetapi juga mampu memotivasi mereka untuk lebih aktif dan kreatif dalam mengeksplorasi konsep kimia secara mandiri.

Berdasarkan hasil observasi, sesi tanya jawab, dan analisis kuesioner, mayoritas siswa menyatakan kepuasan yang tinggi terhadap pelaksanaan pelatihan, dengan lebih dari 80% siswa merasa bahwa materi yang diberikan sangat bermanfaat. Selain itu, hasil kuesioner yang diperoleh, lebih dari 95% siswa mengisi skala kepuasan 3 dan 4 untuk setiap pertanyaan yang memberikan hasil positif terhadap penelitian. Dengan demikian, pendekatan kimia komputasi berbasis perangkat lunak Avogadro dan ChemDraw dapat menjadi alternatif strategi pembelajaran inovatif yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep kimia, tetapi juga melatih siswa dalam berpikir kritis, menganalisis data secara mendalam, serta mengembangkan keterampilan komputasi yang relevan di era digital. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan metode pembelajaran berbasis teknologi di bidang pendidikan kimia, guna meningkatkan kualitas pembelajaran yang lebih interaktif, menarik, dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Agnafia, D. N. (2019). Analisis kemampuan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran biologi. *Florea: Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, *6*(1), 45. https://doi.org/https://doi.org/10.25273/florea.v6i1.4369

Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking. *Proceedings of the Annual American Educational Research Association Meeting*, 13. https://www.media.mit.edu/publications/new-frameworks-for-studying-and-assessing-the-development-of-computational-thinking/

Brown, T. (2014). ChemDraw. *The Science Teacher*, *81*(2), 67.

Cahyaningrum, Y., Kom, S., Putra, A. R., & Nugroho, Y. A. (2024). Analisis Penggunaan Media Sosial Instagram sebagai Media Pembelajaran Pada Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi. *Jurnal JIMMY (Jurnal Informatika Mahaputra Muhammad Yamin*, *2*(2), 12–19. https://doi.org/http://ojs.ummy.ac.id/index.php/jimmy/article/view/424

Deviv, S., Munir, N. S., Arifuddin, M. S., Nurlaeli, N., & Ilela, A. A. (2024). Analisis Eksploratif Tentang Pola Interaksi Mahasiswa dengan Konten Edukatif di Sosial Media (Implikasi untuk Peningkatan Pembelajaran Berbasis Teknologi). *Jurnal Riset Dan Inovasi Pembelajaran*, *4*(3), 1679–1696. https://doi.org/https://doi.org/10.51574/jrip.v4i3.2125

Ennis, R. H. (2018). Critical Thinking Across the Curriculum: A Vision. *Topoi*, *37*(1), 165–164.

Facione, P. A. (2011). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*, *1*(2), 1–23.

Fitriani, W., Suwarjo, S., & Wangid, M. N. (2021). Berpikir Kritis dan Komputasi: Analisis Kebutuhan Media Pembelajaran di Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, *9*(2), 234-242.

https://doi.org/https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i2.19040

Frolova, E. V, Rogach, O. V, & Ryabova, T. M. (2022). Digitalization of Education in the Context of Industry 5.0: Challenges and Prospects. *Education and Information Technologies*, *27*(3), 4521–4537.

Gilbert, J. K. (2020). Visualization in Science Education. *International Journal of Science Education*, *42*(1), 1–15. https://sites.ualberta.ca/~lphillip/documents/asej-22-30.pdf

Hanwell, M. D., Curtis, D. E., Lonie, D. C., Vandermeersch, T., Zurek, E., & Hutchison, G. R. (2012). Avogadro: An Advanced Semantic Chemical Editor, Visualization, and Analysis Platform. *Journal of Cheminformatics*, *4*(1), 1–17. https://doi.org/https://jcheminf.biomedcentral.com/articles/10.1186/1758-2946-4-17

Hassan, E. M., Mustafa, Y. F., & Merkhan, M. M. (2022). Computation in chemistry: representative software and resources. *Int J Pharmacy Pharm St*, *6*(2), 1–10. https://www.researchgate.net/publication/364282890_Computation_in_Chemistry_Representative_Software_and_Resources

Hayati, N., Kadarohman, A., & Sopandi, W. (2023). Enhancing Integration of Digital Technology in Higher Education: The Impact of Avogadro Software on Conceptual Understanding in Organic Chemistry Courses in Indonesia. *In Proceedings of the 2023 5th World Symposium on Software Engineering*, 194. https://doi.org/https://dl.acm.org/doi/10.1145/3631991.3632023

Hertina, D., Nurhidaya, M., Gaspersz, V., Nainggolan, E. T. A., Rosmiati, R., Sanulita, H., & Ferdinan, F. (2024). *Metode Pembelajaran Inovatif Era Digital: Teori dan Penerapan*. Green Pustaka Indonesia.

Juhji, J., & Suardi, A. (2018). Profesi guru dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis peserta didik di era globalisasi. *Geneologi PAI: Jurnal Pendidikan Agama Islam*, *5*(1), 16–24. https://doi.org/https://doi.org/10.32678/geneologi%20pai.v5i1.1043

Khasanah, E. F., Ichsan, Y., Terawati, E., Muslikhah, A. H., & Anjar, Y. M. (2022). Nilai-Nilai Keislaman Pada Tembang Lir-Ilir Karya Sunan Kalijaga. *Ta'dib: Jurnal Pendidikan Islam Dan Isu-Isu Sosial*, *20*(2), 63–75. https://doi.org/10.37216/tadib.v20i2.725

Lestari, A. C., & Annizar, A. M. R. (2020). Proses berpikir kritis siswa dalam menyelesaikan masalah PISA ditinjau dari kemampuan berpikir komputasi. *Jurnal Kiprah*, *8*(1), 46. https://doi.org/https://doi.org/10.31629/kiprah.v8i1.2063

Mardarani, F. D., & Apriyono, F. (2023). Kemampuan berpikir kritis dalam pemecahan masalah ditinjau dari self-concept matematis. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Matematika: PowerMathEdu*, *2*(2), 243–252. https://journal.institutpendidikan.ac.id/index.php/pme/article/view/1425

Nirmala, S. U., Agustina, A., Robiah, S., & Ningsi, A. (2024). Penerapan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi pada Kurikulum Merdeka di Sekolah Dasar. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, *9*(1), 182–187. https://jurnal-dikpora.jogjaprov.go.id/index.php/jurnalideguru/article/view/746

Novitasari, D. (2022). Peningkatan Hasil Belajar Materi Hidrokarbon Melalui Penggunaan Software Chemdraw Di Smkn 1 Bp Bangsa Raja. *Jurnal Inovasi Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, *2*(3), 275. https://jurnalp4i.com/index.php/teaching/article/view/1611

OECD. (2019). *Results: What Students Know and Can Do*. OECD Publising.

Prasetiyo, M. B., & Rosy, B. (2021). Model pembelajaran inkuiri sebagai strategi mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Administrasi Perkantoran (JPAP)*, *9*(1), 109. https://journal.unesa.ac.id/index.php/jpap/article/view/9318

Pratama, A. R., Aprison, W., Wati, S., Iswantir, M., & Irsyad, W. (2024). Pengaruh mind mapping terhadap berfikir kritis dan hasil belajar siswa. *Jurnal Bimbingan Dan Konseling Ar-Rahman*, *10*(1), 158. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31602/jbkr.v10i1.14287

Prianto, B. (2010). Pemodelan kimia komputasi. *Berita Dirgantara*, *8*(1), 104.

Rahmawati, L., Suharni, S., Ambulani, N., Febrian, W. D., Widyatiningtyas, R., & Rita, R. S. (2024). Pemanfaatan Aplikasi Canva Dalam Penyusunan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *5*(1), 129–141. https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/view/24151

Rasyidi, A. (2024). Pendidikan Agama Islam dan Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis sebagai pengembang pemahaman serta pengamalan ajaran Islam kehidupan sehari-hari. *Islamic Education Review*, *1*(1), 1–21.

Resti, R., Wati, R. A., Ma'Arif, S., & Syarifuddin, S. (2024). Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi sebagai Alat Untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Digital Siswa Sekolah Dasar. *Al-Madrasah: Jurnal Ilmiah Pendidikan Madrasah Ibtidaiyah*, *8*(3), 1145–1157. https://jurnal.stiq-amuntai.ac.id/index.php/al-madrasah/article/view/3563

Riyanto, M., Asbari, M., & Latif, D. (2024). Efektivitas problem based learning terhadap kemampuan berpikir kritis mahasiswa. *Journal of Information Systems and Management (JISMA)*, *3*(1), 1–15. https://jisma.org/index.php/jisma/article/view/744

Rusmiyati, B., Artayasa, I. P., & & Raksun, A. (2024). Penerapan LKPD IPA Berbasis Sains Teknologi Masyarakat (STM) Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, *9*(2), 727–732. https://jipp.unram.ac.id/index.php/jipp/article/view/2172

Saputra, H. (2020). Kemampuan berfikir kritis matematis. *Perpustakaan IAI Agus Salim*, *2*(3), 1–17.

Setyautami, C. (2021). Fungsi berpikir komputasional, kritis dan matematis dalam pembelajaran abad 21. *American Jurnal Pendidikan*, *3*(2), 176.

Shibata, J. H. (2020). *Review of molecular modeling basics*. Anceresing med.

Sholeh, M. I., Tasya, D. A., Syafi'i, A., Rosyidi, H., Arifin, Z., & binti Ab Rahman, S. F. (2024). Penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek (Pjbl) Dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *Jurnal Tinta: Jurnal Ilmu Keguruan Dan Pendidikan*, *6*(2), 158–176. https://ejournal.alqolam.ac.id/index.php/jurnaltinta/article/view/1484

Snyder, H. D., & Kucukkal, T. G. (2021). Computational chemistry activities with Avogadro and ORCA. *Journal of Chemical Education*, *9*(4), 1335–1341. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.0c00959

Tamrin, H., & Masykuri, A. (2024). Inovasi metode pembelajaran berbasis teknologi dalam meningkatkan motivasi belajar siswa. *Journal of Islamic Educational Development*, *1*(1), 63–72. https://jurnalstaiibnusina.ac.id/index.php/jppip/article/view/261

Thoriq, T., Rahayu, R. S., Ramdhani, Z. F., Pramesthi, A. R. Y., & Azis, M. Y. (2024). Peningkatan Literasi Sains Melalui Pengabdian Masyarakat Berbasis Eksperimen Kimia

Sederana di SMAN 30 Garut. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *3*(1), 189–200. https://doi.org/https://doi.org/10.30640/abdimas45.v3i1.2426

Unwakoly, S. (2022). Berpikir kritis dalam filsafat ilmu: kajian dalam ontologi, epistemologi dan aksiologi. *Jurnal Filsafat Indonesia*, *5*(2), 92–102. https://www.semanticscholar.org/paper/Berpikir-Kritis-Dalam-Filsafat-Ilmu%3A-Kajian-Dalam-Unwakoly/f44caf61d1ab0315913c9fc0eca940c8891aeab5

Wiliyanti, V., Buana, L. S. A., Haryati, H., Rusmayani, N. G. A. L., Dewi, K. A. K., & Novita, F. (2024). Analisis Penggunaan Media Berbasis Teknologi Dalam Meningkatkan Minat Belajar Mahasiswa. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, *7*(3), 6790–6797. https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i3.29220

Wing, J. M. (2016). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33–35.

Yuliati, C. L., & Susianna, N. (2023). Penerapan Model Pembelajaran Discovery Learning Dalam Meningkatkan Keterampilan Proses Sains, Berpikir Kritis, dan Percaya Diri Siswa. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, *13*(1), 48–61. https://ejournal.uksw.edu/scholaria/article/view/7105

Zhou, X., Liu, B., & Wang, Y. (2021). Computational Chemistry in Chemistry Education: A Review of Applications and Effectiveness. *Journal of Chemical Education*, *98*(5), 1234–1245. https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/JNSI/article/view/21777/0

Zohar, A., & Dori, Y. J. (2011). Metacognition in science education: Trends in current research (Vol. 40). *Springer Science & Business Media.*, *40*(3), 251.

Zubaedi. (2020). *Desain Pendidikan Karakter: Konsepsi dan aplikasinya dalam lembaga pendidikan*. Kencana.