



Pengembangan E-Modul Berbasis Multipel Representasi Dengan Bantuan Teknologi *Augmented Reality* untuk Pembelajaran Materi Bentuk Molekul

Mifta Hurrahman, Erlina*, Husna Amalya Melati, Eny Enawaty, Rody Putra Sartika

Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*Email: Erlina@fkip.untan.ac.id

DOI: 10.24815/jpsi.v10i1.22579

Article History:

Received: September 7, 2021

Revised: December 2, 2021

Accepted: December 7, 2021

Published: December 20, 2021

Abstract. The integration between the three levels of chemical representations is needed by students to get a comprehensive understanding. Based on the preliminary study only 45.5% out of 120 year 2 and year 3 students of chemistry education who passed the final exam with satisfactory category. Thus, teaching resources that integrate the three levels of chemical representation are needed. The aim of this study is to develop and determine the level of validity of e-module utilizing multiple representations of molecular shapes based on VSEPR theory using augmented reality technology. This research employs research and development refers to the instructional design of the ADDIE model consist of 5 stages: Analyze, Design, Develop, Implementation and Evaluation. The products of this research are the e-module of molecular shapes based on VSEPR theory utilizing multiple representations and Augmented Reality Molecule Simulator (ARMOR) application. The resources presented 13 types of molecular shapes, molecules with lone pair and without lone pair of electrons around the central atom. The instrument used in this study is the validity questionnaire sheet. Data collected were then analyzed using the percentage criteria proposed by Akbar. The results of the experts' validation indicated that the product is categorized as very valid with 94% of content validity, 93% of media validity, and 99% of language validity. Therefore, the ARMOR is suitable for use in teaching and learning process. Students show a positive response to the use of the application in helping them understand concepts, which are easy to use, has an attractive appearance, and fun.

Keywords: Molecular Shape, VSEPR theory, Multiple Representations, Augmented Reality

Pendahuluan

Pembelajaran kimia topik bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR merupakan salah satu materi yang sulit untuk dipahami oleh peserta didik. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa faktor yang menyebabkan topik bentuk molekul ini sulit untuk dipahami dikarenakan konsepnya yang abstrak (Behmke dkk., 2018; Erlina dkk., 2018; Fujiwara dkk., 2020; Hidayah & Destari, 2020; Kiernan dkk., 2021). Hal ini dapat dibuktikan dari hasil penelitian Pérez dkk., (2017) yang menunjukkan sebesar 50,6% (n=79) siswa dan 83,8% (n=99) mahasiswa mengalami miskonsepsi terhadap atribut bentuk molekul yang memiliki pasangan elektron bebas maupun yang berikatan. Miskonsepsi tersebut dapat terjadi dikarenakan kurangnya pemahaman dasar, seperti (1) konfigurasi elektron, (2) Elektron valensi, (3) Pasangan elektron ikatan, (4) Pasangan elektron bebas, (5) Sudut ikatan, (6) Ikatan Kimia (Biswajit, 2019). Selain itu, masalah tersebut diperburuk

dengan kurangnya pemahaman peserta didik dalam mengaitkan ketiga level representasi kimia (Gkitzia dkk., 2020; Sunyono & Meristin, 2018).

Dalam mempelajari ilmu kimia dibutuhkan penguasaan pada tiga tingkatan yaitu: level makroskopik yang dapat dilihat, disentuh, dan dicium; level submikroskopik yang berkaitan dengan atom, molekul, ion, dan struktur; dan level simbolik seperti rumus, persamaan, simbol, serta grafik (Stojanovska dkk., 2017). Namun, level submikroskopik dan simbolik dapat menjadi pusat perhatian dikarenakan sifatnya yang abstrak untuk peserta didik (Luviani dkk., 2021; Sukmawati, 2019). Oleh sebab itu, dibutuhkan pemodelan untuk merepresentasikan level submikroskopis dan simbolik yang tidak dapat dilihat oleh mata (Dwiningsih & Safitri, 2020). Visualisasi terhadap ketiga level representasi, khususnya level submikroskopis dan simbolik terhadap topik bentuk molekul menjadi penting dilakukan dalam pembelajaran di kelas.

Pada sisi yang lain, dalam proses membangun visualisasi mental bentuk molekul diperlukan kemampuan visualisasi spasial yang tinggi untuk memahami rumus struktur dan menerjemahkannya menjadi representasi tiga dimensi (Anggriawan dkk., 2017). Visualisasi spasial dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk memvisualisasikan suatu objek dan memanipulasinya baik dengan cara diputar atau direfleksikan menggunakan pikiran sambil membayangkan keluaran yang paling memungkinkan terbentuk (Lowrie dkk., 2019; Ramful dkk., 2017; Roslan & Ahmad, 2017). Seorang kimiawan akan menggunakan kemampuan visual spasial untuk memvisualisasikan struktur 3D dari hasil representasi 2D melalui proses rotasi, refleksi dan manipulasi mental sebuah objek, seperti pada materi bentuk molekul (Harle & Towns, 2011; Vlacholia dkk., 2017). Peserta didik yang mempunyai kemampuan spasial tinggi akan memberikan nilai hasil belajar yang lebih baik dibandingkan peserta didik yang mempunyai kemampuan spasial rendah dalam mempelajari topik materi bentuk molekul (Ibnu, 2017). Oleh sebab itu, kemampuan visualisasi spasial yang baik penting untuk dimiliki oleh peserta didik agar mempermudah dalam menganalisis bentuk molekul suatu senyawa.

Tuntutan dalam kurikulum capaian pembelajaran mata kuliah Kimia Dasar 1 program studi Pendidikan Kimia, FKIP Universitas Tanjungpura adalah mahasiswa mampu menganalisis bentuk geometri senyawa berdasarkan teori VSEPR. Namun, berdasarkan hasil ujian akhir semester mata kuliah kimia dasar 1 dimana materi bentuk molekul diujikan untuk mahasiswa tahun kedua dan ketiga menunjukkan kecenderungan bahwa masih banyak mahasiswa yang tidak mencapai kriteria ketuntasan minimal, yakni dibawah 60. Berdasarkan data yang ada hanya 45,5% dari 120 mahasiswa tahun kedua dan ketiga yang mencapai kriteria ketuntasan minimum. Hasil penelitian dari Erlina dkk., 2021 menunjukkan 71% dari 54 mahasiswa tahun pertama FKIP Untan memperoleh skor pretest topik bentuk molekul dibawah 60. Berdasarkan data yang ada mengindikasikan bahwa terdapat masalah belajar yang dihadapi oleh mahasiswa setiap tahunnya.

Hasil wawancara terhadap dosen pengampu mata kuliah kimia dasar 1, menunjukkan bahwa terdapat beberapa penyebab rendahnya hasil belajar mahasiswa pada materi bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR. Secara umum kesulitan yang dialami mahasiswa adalah sebagai berikut: (1) kesulitan dalam menentukan atom pusat senyawa, (2) kesulitan dalam menentukan pasangan elektron bebas atom pusat, (3) kesulitan dalam menginterpretasikan hubungan antara notasi VSEPR yang telah didapatnya terhadap bentuk molekul yang paling memungkinkan muncul, dan yang terakhir (4) sulit dalam memahami pengaruh PEB terhadap struktur serta sudut molekul. Hasil wawancara terhadap beberapa mahasiswa mengungkapkan bahwa, dalam mempelajari materi ini sebagian besar cenderung menggunakan metode menghafal saat belajar di rumah. Akibatnya, mahasiswa akan mudah lupa dan pemahaman terhadap materi ini cenderung kurang maksimal. Hasil angket yang dibagikan ke 45 responden mahasiswa tahun kedua dan ketiga menunjukkan bahwa: (1) sebanyak 84% menyatakan materi bentuk molekul ini bersifat abstrak, (2) sebanyak 74% menyatakan kesulitan dalam memvisualisasikan

bentuk 3D molekul berdasarkan teori VSEPR, dan (3) sebanyak 69% belum memahami perbandingan gaya tolak antar pasangan elektron. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa peserta didik mengalami kesulitan dalam menentukan apakah atom pusat memiliki pasangan elektron bebas atau tidak (Uyulgan dkk., 2014), kesulitan dalam menentukan penempatan posisi atom-atom yang berada di sekitar atom pusat sesuai dengan teori VSEPR (Wuttisela, 2017).

Solusi yang dapat diambil untuk mengatasi masalah-masalah yang telah dijabarkan di atas, maka akan lebih baik jika bahan ajar yang digunakan dapat mengintegrasikan ketiga level representasi kimia dan mengaplikasikan bantuan teknologi dalam memvisualisasikan bentuk molekul pada level submikroskopis melalui citra 3D dibandingkan hanya sebatas gambar 2D yang disajikan dalam bahan ajar pada umumnya. Ketiga level representasi memiliki peran penting dalam mempelajari dan memahami konsep kimia yang rumit (Mekwong & Chamrat, 2021; Sujak dkk., 2018). Berdasarkan hal tersebut, penelitian terdahulu menyarankan alternatif pembelajaran kimia akan lebih baik jika ketiga level representasi dapat disampaikan secara seimbang, terutama level submikroskopis (Santos & Arroio, 2016; Sunyono & Sudjarwo, 2018; Widiastari & Redhana, 2021). Penggunaan teknologi dalam pembelajaran dan sumber belajar dapat berperan dalam memecahkan masalah belajar seperti lemahnya motivasi belajar dan konsep yang abstrak, (Abdulrahman dkk., 2020; Puspitarini & Hanif, 2019). Salah satu teknologi yang dapat disematkan dalam sumber belajar adalah *Augmented Reality (AR)*.

AR adalah sebuah teknologi yang dapat menggabungkan dunia maya dan dunia nyata dengan memproyeksikan benda maya menjadi objek 3 dimensi (3D) dalam waktu yang nyata melalui kamera (Wahid & Anra, 2017). Teknologi AR dalam dunia pendidikan dapat membantu peserta didik dalam memvisualisasikan secara 3D materi yang bersifat abstrak sehingga mempermudah peserta didik memahami materi (Liono dkk., 2021; Mustaqim, 2016). Peserta didik akan mengalami kesulitan dalam mengimajinasikan struktur bentuk molekul secara nyata jika disajikan dalam bentuk 2D (Saraswati dkk., 2017). Selain itu, hasil penelitian terdahulu menunjukkan media pembelajaran berbasis teknologi AR dapat meningkatkan kecerdasan visual spasial (Phon dkk., 2019; Rahmawati dkk., 2021; Wahyudi & Arwansyah, 2019). Adapun media pembelajaran berbasis AR juga dapat meningkatkan hasil belajar peserta didik (Ningsih, 2020; Weng dkk., 2020) dan motivasi belajar peserta didik (Afnan dkk., 2021). Oleh sebab itu, visualisasi 3D bentuk molekul yang ditampilkan teknologi AR berpotensi untuk meningkatkan kemampuan representasi visual, motivasi dan hasil belajar peserta didik.

Modul pembelajaran dapat digunakan untuk mengefektifkan pemahaman konsep kimia secara optimal. Hal ini dikarenakan modul merupakan bahan ajar terstruktur di mana modul dirancang secara sistematis sehingga peserta didik dapat belajar sesuai dengan kemampuannya sendiri dan tidak bergantung pada pendidik (Yuni, R & Afriadi, 2020). Terlebih lagi, jika modul pembelajaran diintegrasikan dengan teknologi AR maka akan mempermudah peserta didik dalam memahami materi yang disajikan (Kusdiyanti dkk., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat validitas dan respon mahasiswa terhadap e-modul berbasis multipel representasi dengan bantuan teknologi *augmented reality* pada topik bentuk molekul yang mengacu pada teori VSEPR. Dengan dikembangkannya E-modul ini diharapkan dapat membantu peserta didik dalam memahami materi bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research & Development (R&D)* yang mengacu pada model desain instruksional ADDIE. Menurut Branch, (2009) tahapan pada model ADDIE terdiri dari *analyze, design, develop, implement, dan evaluate*. Metode penelitian ini digunakan untuk mengembangkan dan memvalidasi produk yang akan

digunakan dalam pembelajaran pada lingkungan Pendidikan (Gall dkk., 1984). Adapun populasi dalam penelitian ini, yakni mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Tanjungpura.

Pada tahap *analyze* dimulai dengan studi pendahuluan, yakni wawancara terhadap dosen mata kuliah kimia dasar 1 dan penyebaran angket kepada 45 orang responden mahasiswa program studi Pendidikan Kimia tahun kedua dan tahun ketiga. Sampel di ambil menggunakan teknik *purposive sampling* dengan syarat peserta didik tersebut telah mempelajari konsep materi bentuk molekul pada mata kuliah kimia dasar 1 diawal tahun pertama perkuliahan. Selanjutnya, pada tahap ini dilakukan analisis tugas, masalah dan kebutuhan terhadap pembelajaran kimia konsep bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR di program studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Tanjungpura. Analisis tugas dilakukan untuk mengidentifikasi kompetensi pembelajaran konsep materi bentuk molekul. Tahap berikutnya, dilakukan analisis masalah, yakni mengidentifikasi hambatan dan kendala yang dihadapi peserta didik pada pembelajaran materi bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR, sehingga menyebabkan tidak tercapainya kompetensi yang diinginkan. Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan peserta didik berdasarkan hasil analisis masalah yang telah dilakukan. Hasil analisis ini akan menjadi pedoman untuk membuat media pembelajaran.

Pada tahap *design* dilakukan penentuan tujuan pembelajaran, pencarian referensi isi, menentukan batasan konten, dan merancang *storyboard* dari e-modul serta aplikasi AR yang akan dikembangkan. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan angket uji validasi dan respon, serta mempersiapkan *software* pendukung untuk mengembangkan e-modul dan aplikasi AR.

Pada tahap *develop* dilakukan pengembangan e-modul dan aplikasi AR berdasarkan rancangan *storyboard* yang telah dibuat. Prototipe media pembelajaran akan divalidasi untuk mengetahui tingkat validitasnya. Pada penelitian ini, uji validitas prototipe media pembelajaran terdiri dari validasi materi dan validasi media yang melibatkan masing-masing 5 orang dosen ahli, sedangkan validasi bahasa melibatkan 2 orang dosen ahli dan 1 orang pegawai balai bahasa Kalimantan Barat. Selanjutnya, prototipe direvisi sesuai masukan dan saran dari ahli.

Pada tahap *implement* dilakukan uji respon kepada 50 orang mahasiswa tahun kedua dan ketiga program studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Tanjungpura. Sampel responden diambil menggunakan teknik *purposive sampling*. Sampel diambil berdasarkan tingkat kognitif hasil ujian akhir semester kimia dasar 1, yaitu mahasiswa yang memiliki nilai kognitif tinggi, sedang, dan rendah. Sebelum pembelajaran dimulai, mahasiswa diberikan e-modul dan aplikasi AR yang telah divalidasi. Selanjutnya, mahasiswa dapat menggunakan kedua aplikasi tersebut selama proses pembelajaran di kelas maupun di luar kelas. Setelah pembelajaran konsep materi bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR selesai, mahasiswa diberikan angket respon untuk mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap e-modul dan aplikasi AR.

Pada tahap *evaluate* dilakukan evaluasi dari hasil yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Tahap ini berfokus pada penentuan hambatan dan kendala yang muncul selama penggunaan e-modul dan aplikasi AR. Setelah itu, jika diperlukan dilakukan revisi berdasarkan komentar dan saran yang dari responden.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik komunikasi tidak langsung melalui lembar angket uji validitas dan lembar angket respon peserta didik. Setiap validator dan responden yang terlibat dalam pengisian angket akan memberikan penilaian terhadap setiap aspek yang ingin diukur. Skala penilaian yang digunakan mengacu pada skala Likert yang terdiri dari skor 4 (sangat setuju), 3 (setuju), 2 (tidak setuju), dan 1 (sangat tidak setuju).

Data yang telah diperoleh dari angket validasi dan respon dianalisis melalui teknik analisis kualitatif dan kuantitatif. Penilaian dari para ahli dan responden mahasiswa dianalisis menggunakan formula yang diadaptasi dari Akbar (2013):

$$V - ah = \frac{TSe}{TSh} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

V-ah : Validitas ahli

TSe : Total skor empiris validator

TSh : Skor maksimal

Hasil perhitungan akan diinterpretasikan tingkat validitasnya sesuai dengan kriteria tingkat validitas produk pada Tabel 1.

Tabel 1. Konversi Tingkat Validitas Produk

Kriteria Pencapaian (%)	Tingkat Validitas	Keterangan
85,01-100	Sangat Valid	Dapat digunakan tanpa perbaikan
70,01-85,00	Cukup Valid	Dapat digunakan dengan revisi kecil
50,01-70,00	Kurang Valid	Disarankan tidak dipergunakan karena perlu revisi besar
01,00-50,00	Tidak Valid	Tidak boleh dipergunakan

(Sumber: Akbar, 2013)

Hasil penilaian responden juga dianalisis menggunakan rumus yang diadaptasi dari Akbar (2013):

$$V - pg = \frac{TSe}{TSh} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

V-pg : Validitas pengguna

TSe : Total skor empiris validator

TSh : Skor maksimal

Hasil perhitungan akan diinterpretasikan sesuai dengan kriteria uji respon pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Uji Respon

Kriteria Pencapaian (%)	Kualifikasi
85,01-100	Sangat Baik
70,01-85,00	Cukup Baik
50,01-70,00	Kurang Baik
01,00-50,00	Tidak Baik

Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan tahap pengembangan, dilakukan analisis masalah dan kebutuhan. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan panduan penyusunan produk yang didasarkan dari masalah dan kebutuhan, sehingga dapat memberikan intervensi yang tepat dalam mengatasi kesenjangan dalam pembelajaran (Asmar & Suryadarma, 2021). Hasil wawancara dosen, menunjukkan bahwa peserta didik mengalami kesulitan dalam menentukan atom pusat, kesulitan dalam mengidentifikasi keberadaan PEB pada atom pusat, kesulitan dalam menginterpretasikan notasi VSEPR terhadap bentuk molekul yang paling mungkin muncul, dan kurangnya pemahaman peserta didik pengaruh efek tolakan PEB terhadap bentuk dan sudut bentuk molekul. Hal ini diperkuat dengan hasil kuesioner terhadap 45 responden mahasiswa Pendidikan kimia tahun kedua dan ketiga yang memberikan tanggapan bahwa materi bentuk molekul bersifat abstrak, sulit dalam memvisualisasikan bentuk 3D bentuk molekul, dan kurangnya pemahaman mengenai gaya tolak antar pasangan elektron.

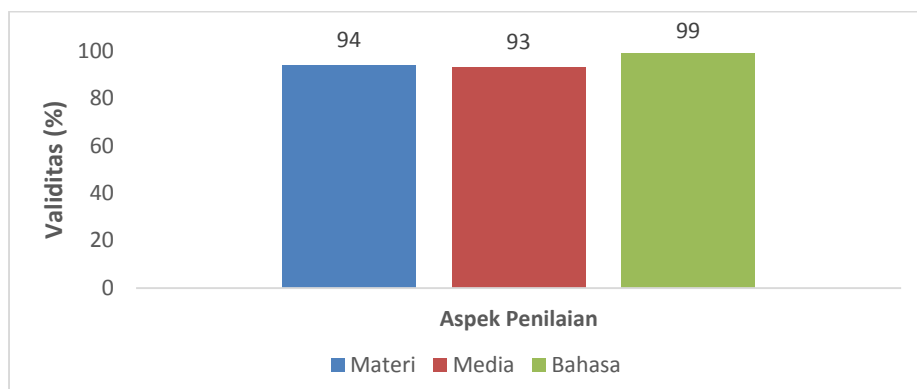
Desain *storyboard* yang telah dibuat dijadikan acuan dalam melakukan proses pengembangan prototipe e-modul topik bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR dan aplikasi AR. Adapun beberapa *software* yang digunakan untuk mengembangkan kedua produk tersebut, seperti *Unity Game Engine 2018*, *3D Studio Max 2018*, *Microsoft Power Point 2019*, *Adobe Photoshop CS6*, *Adobe Illustrator 2017*, *Android studio 4.1*, *Chemdraw Professional 15.0*. Adapun alat yang digunakan dalam proses pengembangan, seperti laptop, *webcam*, *smartphone android*.

Pada tahap pengembangan dihasilkan prototipe berupa e-modul bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR berbasis multipel representasi berformat .exe dengan ukuran file sebesar 17 MB dan aplikasi android *Augmented Reality Molecule Simulator* (ARMOR) berformat .apk dengan ukuran file sebesar 64 MB yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan E-Modul Bentuk Molekul Berdasarkan Teori VSEPR dan Aplikasi ARMOR

Selanjutnya, prototipe masuk ke tahap validasi oleh ahli yang meliputi validasi materi, validasi media, dan validasi bahasa. Persentase rata-rata hasil validasi pada masing-masing tahapan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Persentase Penilaian Validitas Rata-Rata pada Aspek Materi, Media, dan Bahasa

Validasi materi, media dan bahasa terhadap produk yang telah dikembangkan pada gambar 3 menunjukkan rata-rata persentase kelayakan tiap tahapan validasi sebesar 94, 92 dan 99%, sehingga rata-rata keseluruhan adalah 95%. Pada rentang 85,01-100% menunjukkan bahwa validitas ketiga tahapan validasi tersebut dikategorikan sangat valid, sehingga dapat digunakan tanpa perbaikan (Akbar, 2013). Dengan demikian berdasarkan hasil validasi di atas dapat diartikan prototipe yang dihasilkan telah memenuhi kriteria kelayakan secara teoritik pada aspek materi, media, dan bahasa. Instrumen atau produk dapat ditentukan tingkat kelayakannya berdasarkan hasil penilaian pakar dibidangnya (Ramadhan dkk., 2019).

Pada validasi materi terdiri dari aspek kelayakan isi dan kelayakan penyajian materi. Aspek kelayakan materi berisikan sembilan butir penilaian dan aspek kelayakan penyajian berisikan empat butir penilaian yang dapat dilihat pada Tabel 3.

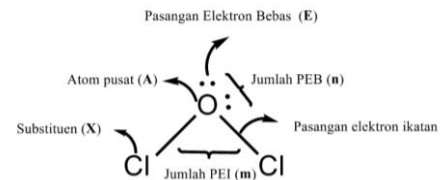
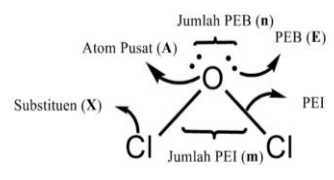




Tabel 3. Butir Penilaian Angket Validasi Materi

Aspek Penilaian	No.	Butir Penilaian	Rata-rata Penilaian Validator (%)
Isi Materi	1.	Materi yang disajikan lengkap.	95
	2.	Materi yang disajikan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan kimia.	95
	3.	Materi yang disajikan dibahas secara mendalam.	90
	4.	Materi yang disajikan akurat.	90
	5.	Gambar struktur Lewis pada e-modul akurat.	90
	6.	Visualisasi animasi 3D bentuk molekul dalam aplikasi ARMOR akurat.	100
	7.	Gambar makroskopis contoh senyawa akurat.	95
	8.	Kesesuaian soal latihan dengan indikator CPMK kimia dasar.	80

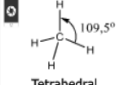
	9.	Kunci jawaban soal disajikan akurat.	85
Penyajian Materi	10.	Materi menyajikan tiga level representasi kimia.	100
	11.	Materi didukung oleh gambar, foto, animasi, contoh soal dan soal latihan.	95
	12.	Materi disajikan runtut.	95
	13.	Materi menambah wawasan pengetahuan pengguna.	95

Aspek kelayakan isi dan penyajian materi menunjukkan hasil yang dikategorikan tidak perlu ada revisi, namun komentar dan saran perbaikan yang diberikan dari masing-masing validator tetap dipertimbangkan untuk dilakukan revisi yang diperlukan. Aspek kelayakan isi dan penyajian yang baik menunjukkan materi yang dikembangkan selaras dengan perkembangan ilmu pengetahuan, sesuai dengan tujuan pembelajaran, memiliki daya untuk proses pembelajaran, dan memiliki akurasi yang baik terhadap materi serta konteks berpikir peserta didik (Ayuningtyas, 2016). Dengan adanya soal latihan diharapkan peserta didik dapat mengevaluasi diri terhadap kemajuan dan hasil belajar yang didapat (Adom dkk., 2020). Hasil validasi aspek kelayakan isi materi pada Tabel 3, menunjukkan bagian yang paling menarik perhatian terdapat pada butir penilaian 8 dan 9. Pada butir penilaian nomor 8 validator memberikan komentar terhadap kesesuaian soal latihan dengan indikator capaian yang hendak dicapai. Sebaiknya satu soal latihan mewakili satu indikator yang telah dibuat. Hal ini dikarenakan dalam melakukan evaluasi, alat evaluasi harus dapat mengukur ketercapaian suatu kompetensi dasar yang diharapkan (Mauliandri dkk., 2021). Berikutnya, pada butir penilaian nomor 9 validator memberikan komentar adanya kekeliruan kunci jawaban soal latihan, sehingga dilakukan perbaikan. Kesalahan tersebut terjadi akibat pengembang salah dalam penulisan nama senyawa, atom pusat, konfigurasi elektron atom pusat. Selanjutnya, validator juga menyarankan perbaikan struktur Lewis pada butir penilaian 5. Struktur Lewis pada bagian pendahuluan e-modul belum merepresentasikan tolakan pasangan elektron bebas, sehingga disarankan untuk diperbaiki. Hal ini dikarenakan penempatan posisi-posisi PEB maupun substituen akan berpengaruh terhadap penentuan kepolaran senyawa (Rizkiana & Apriani, 2020). Adapun saran dari validator terhadap butir penilaian 3, sebaiknya contoh-contoh senyawa pada tiap tabel diperbanyak agar memperkaya isi tabel dan menambah wawasan pembaca. Dengan memberikan variasi terhadap contoh dan ilustrasi pada peserta didik, diharapkan pemahaman peserta didik dapat menjadi lebih baik (Pratiwi & Ediyono, 2019). Selain itu, pada butir penilaian yang sama disarankan untuk lebih mengefektifkan tata letak tulisan dalam tabel agar lebih mudah dipahami dan akan lebih baik lagi diberi warna pada bagian kepala tabel agar tidak terkesan datar. Terakhir, pada butir penilaian 1 disarankan agar mencantumkan sumber dari gambar yang dicantumkan dalam e-modul. Dengan dilakukannya validasi konten diharapkan dapat memastikan kesesuaian perangkat dengan karakteristik konten yang disajikan dan menghindari kesalahan konsep (Nazar dkk., 2020). Seluruh hasil revisi berdasarkan saran dan masukan dari validator dapat dilihat pada Tabel 4.

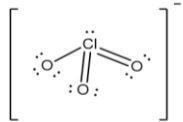
Tabel 4. Hasil Revisi oleh Ahli Materi

Sebelum Revisi	Setelah Revisi																																																	
<p>bebas Perhatikan contoh ilustrasi struktur lewis senyawa SO_2 berikut:</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 1.1 Struktur lewis SO_2</p> <p>Soal-soal Latihan</p> <p>1. Perhatikan tabel berikut !</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$Be(CH_3)_2$</td> <td>GaI_3</td> <td>BF_4^-</td> <td>$TaCl_5$</td> <td>TeF_6</td> </tr> </table> <p>Berdasarkan tabel di atas analisislah</p> <ol style="list-style-type: none"> Ramalan bentuk setiap molekul menggunakan teori VSEPR Sudut ikatan yang mungkin terbentuk <p>2. Arsen adalah salah satu zat beracun yang sangat terkenal, dapat ditentukan dengan cara mengubah senyawanya menjadi zat yang tidak stabil AsH_3 (arsin) yang dapat terurai dengan mudah pada permukaan kaca panas menjadi endapan arsen murni seperti cermin yang melapisi permukaan kaca tersebut. Bagaimana bentuk molekul AsH_3 tersebut ? Lengkapi hingga notasi VSEPR-nya !</p>	$Be(CH_3)_2$	GaI_3	BF_4^-	$TaCl_5$	TeF_6	<p>bebas. Perhatikan contoh ilustrasi struktur Lewis senyawa OCl_2 berikut.</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 1. Struktur Lewis OCl_2</p> <p>Soal Latihan</p> <ol style="list-style-type: none"> <u>Fosforil trifluoride</u> merupakan senyawa berfase gas tidak berwarna yang dapat terhidrolisis dengan cepat. Tentukan atom pusat dari senyawa tersebut dan berikan penjelasan! Pembakaran bahan bakar fosil umumnya akan menghasilkan senyawa-senyawa polutan. Salah satu polutan tersebut adalah gas karbon dioksida. Tentukan bilangan koordinasi dari gas tersebut! Klorat merupakan garam dari asam klorat yang apabila mengalami ionisasi akan membentuk anion klorat (ClO_3^-). Tentukan jumlah Pasangan Elektron Bebas (PEB) dari anion tersebut! Perhatikan gambar ilustrasi di bawah ini! <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a) Padatan CBr_4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b) Padatan $TeCl_4$</p> </div> </div> <p>Senyawa CBr_4 dan $TeCl_4$ merupakan senyawa kimia yang berwujud padat. Senyawa CBr_4 dapat digunakan sebagai sumber halida untuk menghasilkan senyawa alkil halida. Adapun senyawa $TeCl_4$ digunakan dalam sintesis senyawa organik jika direaksikan dengan senyawa alkena membentuk derivatnya. Meskipun memiliki wujud zat yang sama, kedua senyawa ini memiliki bentuk molekul yang berbeda. Mengapa kedua senyawa tersebut memiliki bentuk molekul yang berbeda ? Analisislah berdasarkan teori VSEPR!</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(b)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Gambar 2. (a) Struktur senyawa NH_4OH dan (b) $Pt(NH_3)_2Cl_2$</p> <p style="font-size: small;">Sumber: www.exportersindia.com/ny-p-rogantak/cisplatin-injection-amritsar-india-676976.htm https://indonesian.alibaba.com/product-detail/ammonium-hydroxide-solution-cas-1336-21-6-ammonia-water-1700004952002.html</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Komponen</th> <th colspan="4">Senyawa</th> </tr> <tr> <th>Fosfor pentaklorida</th> <th>Sulfur tetrafluorida</th> <th>Klor trifluorida</th> <th>Xenon difluorida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rumus Molekul</td> <td>PCl_5</td> <td>SF_4</td> <td>ClF_3</td> <td>XeF_2</td> </tr> <tr> <td>Atom Pusat</td> <td>P</td> <td>S</td> <td>Cl</td> <td>Xe</td> </tr> <tr> <td>Elektron Valensi</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>BK</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>PEI</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>PEB</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Notasi VSEPR</td> <td>AX_5</td> <td>AX_4E</td> <td>AX_2E_2</td> <td>AX_2E_3</td> </tr> </tbody> </table>	Komponen	Senyawa				Fosfor pentaklorida	Sulfur tetrafluorida	Klor trifluorida	Xenon difluorida	Rumus Molekul	PCl_5	SF_4	ClF_3	XeF_2	Atom Pusat	P	S	Cl	Xe	Elektron Valensi	5	6	7	8	BK	5	5	5	5	PEI	5	4	3	2	PEB	0	1	2	3	Notasi VSEPR	AX_5	AX_4E	AX_2E_2	AX_2E_3
$Be(CH_3)_2$	GaI_3	BF_4^-	$TaCl_5$	TeF_6																																														
Komponen	Senyawa																																																	
	Fosfor pentaklorida	Sulfur tetrafluorida	Klor trifluorida	Xenon difluorida																																														
Rumus Molekul	PCl_5	SF_4	ClF_3	XeF_2																																														
Atom Pusat	P	S	Cl	Xe																																														
Elektron Valensi	5	6	7	8																																														
BK	5	5	5	5																																														
PEI	5	4	3	2																																														
PEB	0	1	2	3																																														
Notasi VSEPR	AX_5	AX_4E	AX_2E_2	AX_2E_3																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Senyawa PCl_5</th> <th>Senyawa SF_4</th> <th>Senyawa ClF_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Atom pusat : P</td> <td>Atom pusat : S</td> <td>Atom pusat : Cl</td> </tr> <tr> <td>Elektron valensi : 5</td> <td>Elektron valensi : 6</td> <td>Elektron valensi : 7</td> </tr> <tr> <td>BK : 5</td> <td>BK : 5</td> <td>BK : 5</td> </tr> <tr> <td>PEI : 5</td> <td>PEI : 4</td> <td>PEI : 3</td> </tr> <tr> <td>PEB : 0</td> <td>PEB : 1</td> <td>PEB : 2</td> </tr> <tr> <td>Notasi VSEPR : AX_5</td> <td>Notasi VSEPR : AX_4E</td> <td>Notasi VSEPR : AX_2E_2</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Gambar 1.2 Struktur senyawa NH_4OH dan $Pt(NH_3)_2Cl_2$</p>	Senyawa PCl_5	Senyawa SF_4	Senyawa ClF_3	Atom pusat : P	Atom pusat : S	Atom pusat : Cl	Elektron valensi : 5	Elektron valensi : 6	Elektron valensi : 7	BK : 5	BK : 5	BK : 5	PEI : 5	PEI : 4	PEI : 3	PEB : 0	PEB : 1	PEB : 2	Notasi VSEPR : AX_5	Notasi VSEPR : AX_4E	Notasi VSEPR : AX_2E_2																													
Senyawa PCl_5	Senyawa SF_4	Senyawa ClF_3																																																
Atom pusat : P	Atom pusat : S	Atom pusat : Cl																																																
Elektron valensi : 5	Elektron valensi : 6	Elektron valensi : 7																																																
BK : 5	BK : 5	BK : 5																																																
PEI : 5	PEI : 4	PEI : 3																																																
PEB : 0	PEB : 1	PEB : 2																																																
Notasi VSEPR : AX_5	Notasi VSEPR : AX_4E	Notasi VSEPR : AX_2E_2																																																

Sebelum Revisi

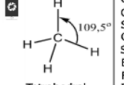
Bilangan Koordinasi	Jumlah Pasangan elektron Ikatan	Jumlah Pasangan Elektron Bebas	Notasi VSEPR	Struktur Molekul	Bentuk	Contoh
4	4	0	AX ₄		Tetrahedral	CH ₄

3. Nama senyawa : CO₂
 Atom pusat : C
 Konfigurasi atom pusat : [He] 2s² 2p²
 Struktur lewis

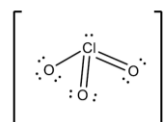


Sesudah Revisi

Tabel 6. Bentuk molekul bilangan koordinasi empat

Bilangan Koordinasi	Jumlah PEI	Jumlah PEB	Notasi VSEPR	Struktur Bentuk Molekul	Contoh
4	4	0	AX ₄		CH ₄ , CCl ₄ , SiCl ₄ , GeCl ₄ , SnCl ₄ , BF ₃ , FeCl ₄ ²⁻ , BeCl ₂ ²⁺

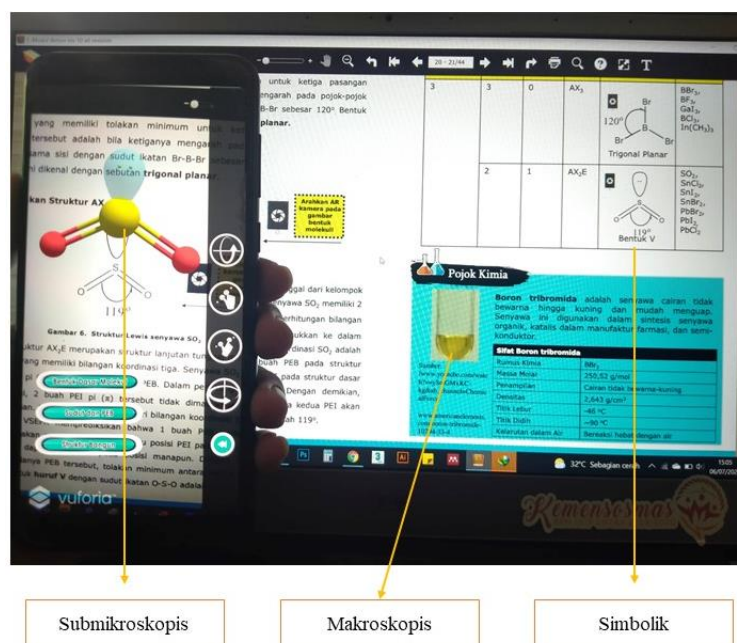
3. nama senyawa : ClO₃⁻
 atom pusat : Cl
 konfigurasi atom pusat : [Ne] 3s² 3p⁵
 struktur Lewis



Berdasarkan hasil validasi aspek kelayakan penyajian materi pada Tabel 3, menunjukkan hasil yang sudah baik, sehingga pengembang memutuskan tidak melakukan revisi. Adapun keterbatasan penelitian yang masih belum dapat menganimasikan efek tolakan pasangan elektron bebas seperti yang disarankan oleh validator untuk butir penilaian 11. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dengan menyisipkan animasi konsep kimia dapat membantu dalam menjelaskan materi yang abstrak (Djoa & Kusumaningtyas, 2021; Yustiqvar dkk., 2019). Hasil dari penelitian Galvez (2018), menunjukkan bahwa penganimasikan secara visual pada topik ikatan kimia, efektif dalam mengajarkan konsep abstrak di kelas. Hal ini dikarenakan dengan memasukan sebuah animasi, pendidik dapat menjelaskan lebih mendalam mengenai partikel-partikel penyusun sebuah atom, ion, dan molekul (Azzajjad dkk., 2020). Dengan demikian, masukan dan saran tersebut akan dijadikan bahan evaluasi untuk penelitian kedepannya agar produk dapat lebih baik. Pada butir penilaian 13, masukan dari salah satu validator agar memperbarui contoh-contoh senyawa. Hal ini sudah direvisi pada aspek sebelumnya. Suatu bahan ajar dapat memberikan pemahaman yang utuh apabila sajian yang ditampilkan baik dalam bentuk uraian materi, ilustrasi gambar dan soal memiliki kesesuaian dengan apa yang hendak dicapai (Lau dkk., 2019). Dalam hal ini, pemaparan materi yang disajikan dalam e-modul didukung dengan bantuan ilustrasi melalui pendekatan multipel representasi kimia.

Ketiga level representasi kimia pada produk media pembelajaran yang telah dikembangkan terdiri dari aspek level makroskopis ditunjukkan dengan disajikannya contoh gambar dari senyawa yang dibahas pada bagian "Pojok Kimia" di dalam e-modul. Selanjutnya, pada aspek level submikroskopis disajikan dalam bentuk visualisasi animasi 3D interaktif bentuk molekul melalui aplikasi ARMOR yang terintegrasi dengan *marker* struktur Lewis pada e-modul. Terakhir, mengenai aspek level simbolik disajikan dalam bentuk struktur Lewis pada masing-masing contoh bentuk molekul dalam e-modul. Disajikannya materi dengan pendekatan multipel representasi agar konsep kimia dapat dijelaskan secara bertahap dan runtut diawali dengan pengamatan secara makroskopis, kemudian dijelaskan lebih rinci pada aspek submikroskopisnya, serta pada bagian akhir dituangkan secara simbolik (Shui-Te dkk., 2018). Bahan ajar yang baik jika konsep yang telah dipelajari dikategorikan sesuai dengan konsep dasarnya secara bertingkat untuk memudahkan peserta didik dalam mempelajari konsep yang lebih luas, membangun pemahaman dasar, dan mengembangkan keterampilan menghubungkan antar konsep (San dkk., 2020). Dengan demikian diharapkan penggunaan bahan ajar berbasis tiga level

representasi kimia dapat mengembangkan kemampuan peserta didik dalam mengintegrasikan ketiga level representasi kimia melalui visualisasi yang didapatnya (Farida dkk., 2020). Pendekatan multipel representasi kimia pada sajian materi dalam e-modul dapat di lihat pada Gambar 3.

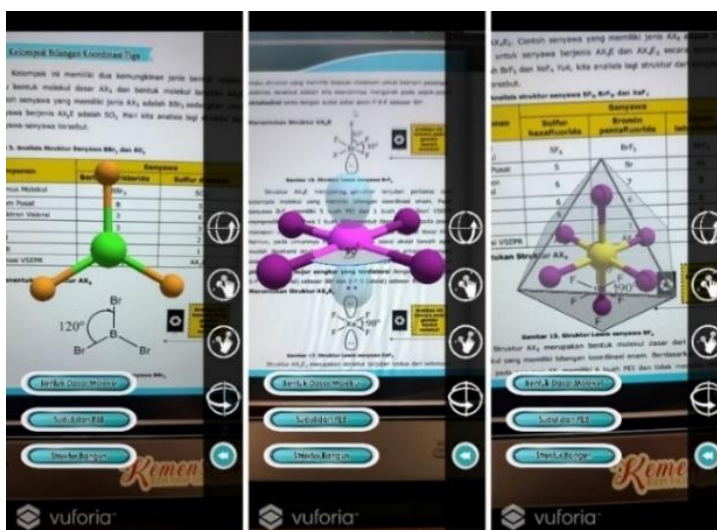


Gambar 3. Tampilan Ilustrasi Tiga Level Representasi Kimia pada E-Modul

Disamping itu, penyajian materi bentuk molekul dalam e-modul dikategorikan menjadi lima kelompok berdasarkan bilangan koordinasi. Kelima kelompok tersebut terdiri dari tiga belas jenis bentuk molekul yang berbeda, baik bentuk molekul yang memiliki PEB maupun tidak memiliki PEB pada atom pusatnya. Bentuk molekul divisualisasikan secara 3D oleh aplikasi ARMOR dengan tiga pilihan tampilan, yaitu 1) bentuk molekul dasar; 2) sudut dan PEB; 3) struktur bangun ruang. Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan produk berupa aplikasi *Augmented Reality* yang memvisualisasikan bentuk molekul. Akan tetapi, terdapat beberapa kekurangan dari produk-produk tersebut seperti 1) visualisasi bentuk molekul yang ditampilkan belum menyajikan sudut ikatan, struktur bangun ruang kurang tergambar dengan baik, sebagian besar tidak menampilkan perbedaan warna ikatan kovalen yang terbentuk, dan produk-produk yang dikembangkan terbatas dalam bentuk aplikasi AR yang hanya terintegrasi dengan kartu *marker* (Herpika & Mawardi, 2021; Irwansyah dkk., 2018; M. Nazar dkk., 2020). Hal yang menjadi kelebihan dalam penelitian ini, yaitu produk yang dikembangkan menyajikan visualisasi 3D struktur bangun ruang, sudut, dan PEB, serta perbedaan warna ikatan kovalen yang terbentuk antar atom dalam satu bentuk molekul dan terintegrasi langsung dengan modul yang dikembangkan bersamaan dengan aplikasi AR. Visualisasi yang diproyeksikan oleh aplikasi ARMOR memberikan pengalaman berupa rangsangan visual secara nyata kepada pengguna berupa susunan atom-atom di dalam suatu ruang bentuk geometri molekul dengan seksama. Visualisasi objek secara 3D mempermudah dalam menjelaskan dan mengilustrasikan fenomena yang sulit untuk dimengerti (Mansor dkk., 2020). Studi yang dilakukan oleh Raja & Nagasubramani (2018) pengembangan teknologi dalam pembelajaran seperti perangkat visualisasi 3D menjadi sumber yang sangat baik untuk guru dalam membantu peserta didik memahami konsep dengan mudah. Dengan demikian, pengaplikasian teknologi dalam pembelajaran diharapkan dapat membuat peserta didik tertarik dan ingin berpartisipasi lebih di dalam kelas, sehingga pembelajaran akan berfokus

pada peserta didik dan guru hanya sebagai fasilitator. Menurut Kustyarini dkk (2020), media pembelajaran interaktif merupakan media yang dilengkapi dengan pengontrol agar dapat memudahkan pengguna dalam mengoperasikan dan memilih apa yang diinginkan pada proses berikutnya. Hal inilah yang membuat peneliti tertarik untuk mengembangkan bahan ajar yang dapat memvisualisasikan bentuk molekul secara 3D dan interaktif dalam aplikasi ARMOR. Peserta didik dapat menyentuh dan memutar struktur tersebut ke segala arah, agar sudut ikatan dan susunan antar atom dalam suatu bentuk molekul dapat dilihat dengan seksama dari berbagai sudut pandang dalam ruang sesuai keinginan. Harapannya dapat sejalan dengan perspektif psikologis kognitif untuk meningkatkan kapasitas memori kerja pengguna dalam menganalisis dengan tepat bentuk molekul setelah menghitung bilangan koordinasi dari suatu senyawa. Dengan meningkatnya memori kerja dapat membantu seseorang dalam mengelola dan memproses informasi kognitif yang kompleks untuk menghasilkan suatu keputusan (Lerik, 2016; Schurgin, 2018). Penelitian terdahulu menunjukkan visualisasi 3D dalam pembelajaran kimia pada level molekul memberikan hasil yang baik dalam mengembangkan pemahaman konsep kimia medis dan desain obat tingkat lanjut (Abdel-Halim, 2020).

Penyajian tampilan bentuk molekul yang diproyeksikan oleh aplikasi ARMOR memberikan perbedaan warna ikatan kovalen antara atom-atom yang berikatan dengan atom pusat. Hal ini bertujuan memberikan penguatan pemahaman secara simbolis konsep ikatan kovalen yang sebelumnya telah dipelajari berupa pemakaian pasangan elektron bersama di antara dua atom atau lebih. Adapun sudut dan PEB yang diproyeksikan oleh aplikasi ARMOR bertujuan untuk memberikan visualisasi pengaruh PEB terhadap sudut ikatan yang terbentuk pada suatu bentuk molekul. Selain itu, aplikasi ARMOR terintegrasi dengan modul berbasis multipel representasi yang telah dikembangkan, sehingga materi dapat disajikan lebih lengkap dibandingkan dengan aplikasi AR yang tidak diintegrasikan dengan bahan ajar. E-Modul juga dapat dicetak jika diperlukan. Visualisasi yang diproyeksikan oleh aplikasi ARMOR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tiga Pilihan Tampilan Bentuk Molekul yang Diproyeksikan oleh Aplikasi ARMOR

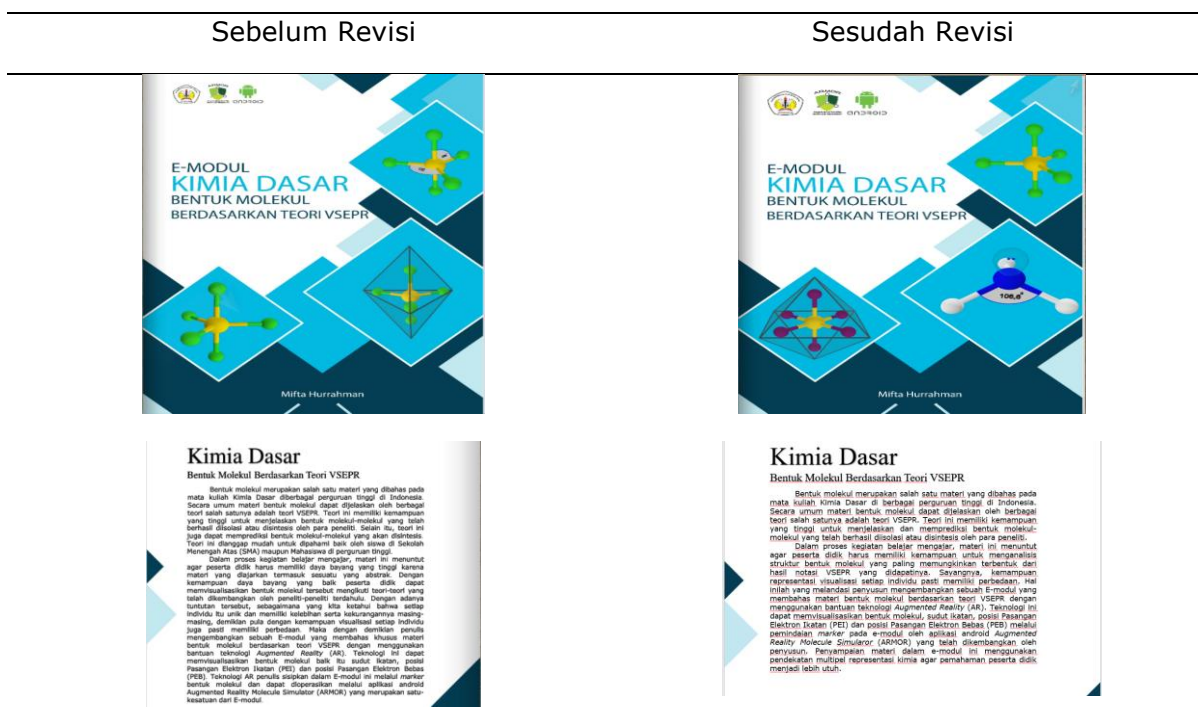
Tahap berikutnya adalah validasi ahli media. Validasi media ditujukan untuk memperoleh data validitas prototipe yang ditinjau dari aspek desain sampul e-modul, desain isi e-modul, desain aplikasi *augmented reality*, dan keterpakaian media. Hasil validasi media dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Butir Penilaian Angket Validasi Media

Aspek Penilaian	No.	Butir Penilaian	Rerata Penilaian Validator (%)
Desain Sampul E-modul	1.	Tampilan tata letak komponen sampul memberikan kesan harmonis dan irama yang baik.	100
	2.	Tampilan sampul memiliki prinsip kesatuan.	100
	3.	Penggunaan jenis huruf mudah dibaca dan menarik.	90
	4.	Komponen unsur sampul e-modul lengkap.	90
	5.	Tata letak unsur grafis tidak mengganggu.	90
	6.	Tata letak posisi judul, nama penulis, ilustrasi, dan deskripsi tepat.	90
Desain Isi E-Modu	7.	Tampilan tata letak komponen bagian isi memberikan kesan harmonis dan irama yang baik.	95
	8.	Tipografi isi materi sederhana.	95
	9.	Komponen unsur isi materi lengkap	100
	10.	Tata letak unsur grafis tidak mengganggu isi materi.	95
	11.	Tata letak judul dan sub judul tepat	85
	12.	Tata letak gambar, ilustrasi, foto, keterangan gambar tepat.	75
Desain Aplikasi ARMOR	13.	Tata letak komponen unsur grafis tepat.	85
	14.	Tipografi isi aplikasi ARMOR mudah dibaca	95
	15.	Komponen unsur grafis aplikasi ARMOR harmonis	90
Keterpakaian Media	16.	Aplikasi e-modul dapat beroperasi lancar.	95
	17.	Tombol navigasi e-modul berjalan lancar.	100
	18.	Aplikasi ARMOR dapat beroperasi lancar.	100
	19.	Tombol navigasi aplikasi ARMOR berjalan lancar.	95
	20.	Visualisasi 3D bentuk molekul senyawa pada aplikasi ARMOR disajikan baik.	100

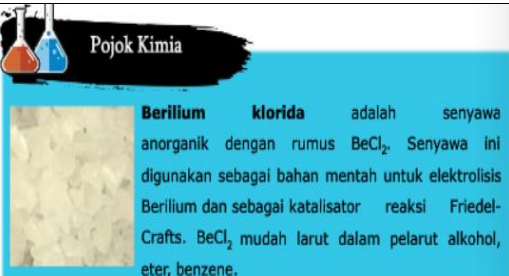

Berdasarkan hasil validasi aspek desain sampul e-modul Tabel 5, pada butir penilaian 3 validator menyarankan untuk meringkas sinopsis pada sampul belakang e-modul. Selanjutnya, butir penilaian 4 disarankan agar memvariasikan tampilan bentuk molekul pada sampul agar lebih menarik dan berwarna. Berikutnya, butir penilaian 5 disarankan untuk memperbesar ukuran logo. Saran-saran perbaikan dari validator ditunjukkan agar sampul buku memberikan titik yang menarik dalam membangun citra dan persepsi yang dihasilkan melalui sajian visual (Desintha, 2019). Dengan tampilan yang menarik, diharapkan dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih memotivasi peserta didik agar terlibat aktif dalam proses pembelajaran (Harackiewicz dkk., 2016). Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Revisi Aspek Desain E-Modul



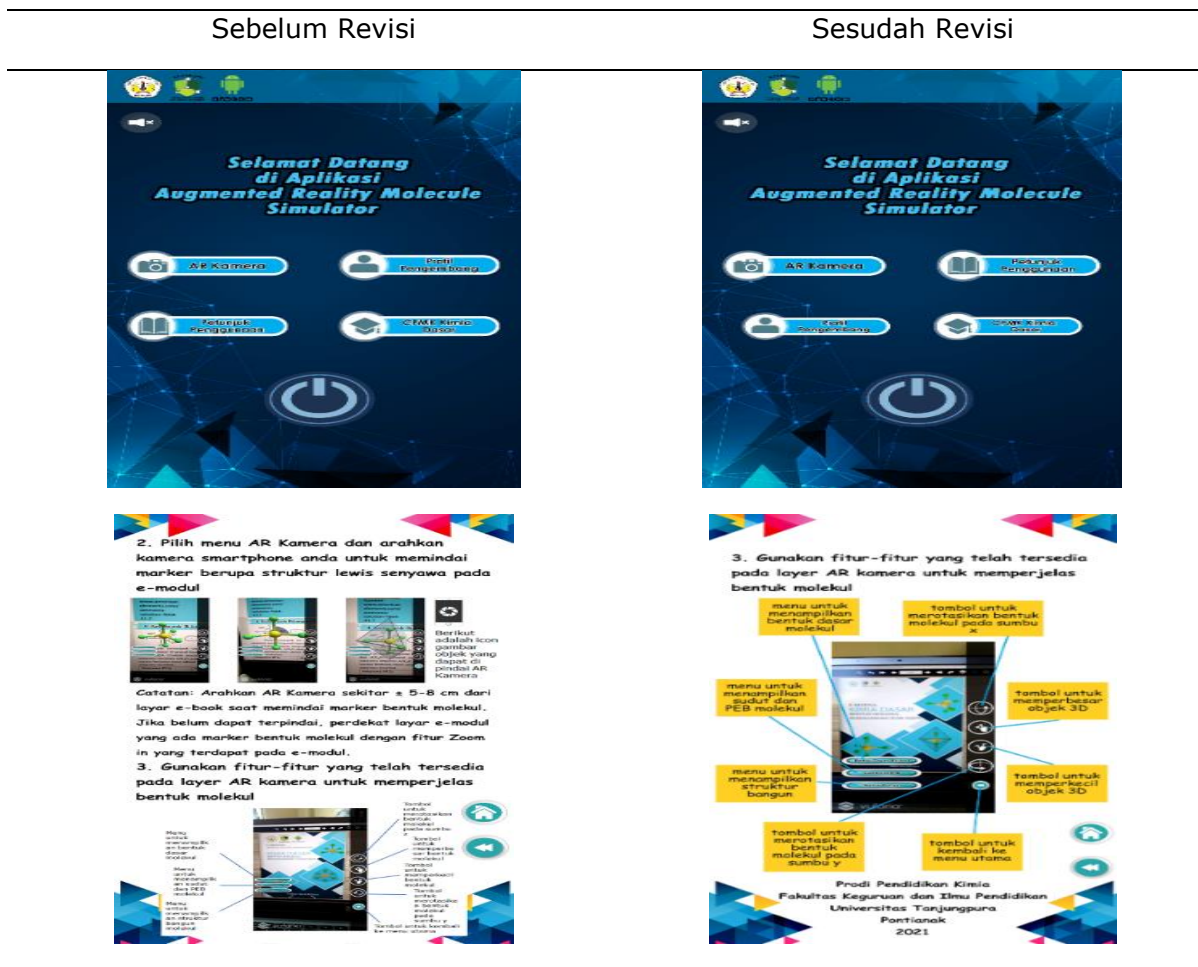
Berdasarkan hasil validasi aspek penilaian desain isi e-modul pada Tabel 5, poin yang paling menarik adalah pada butir penilaian 12. Validator menyarankan untuk mengganti beberapa gambar makroskopis senyawa pada pojok kimia karena kualitas gambar buram, sehingga sulit untuk dilihat. Hal ini dikarenakan citra gambar yang memiliki resolusi kecil akan memberikan informasi visual yang buruk (Astuti, 2020). Dengan demikian penggunaan gambar dengan resolusi tinggi akan lebih baik jika digunakan, sehingga informasi visual dapat tersampaikan dengan baik. E-modul yang dikembangkan terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian pendahuluan, isi, dan penutup. Bagian pendahuluan memuat kata pengantar, daftar isi, capaian pembelajaran lulusan, capaian pembelajaran mata kuliah, indikator capaian pembelajaran mata kuliah. Bagian isi pada e-modul ini memaparkan materi terkait bentuk molekul, langkah dalam memprediksikan bentuk molekul, dan penggolongan struktur bentuk molekul. Penjabaran materi dalam e-modul dirancang agar ketiga level representasi kimia dalam tersampaikan dengan baik. Pada bagian terakhir merupakan penutup yang terdiri dari simpulan, contoh soal, soal latihan, glosarium, daftar pustaka, dan kunci jawaban soal. Hasil revisi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Revisi Aspek Desain Isi E-Modul

Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
 <p>Berilium klorida adalah senyawa anorganik dengan rumus BeCl_2. Senyawa ini digunakan sebagai bahan mentah untuk elektrolisis Berilium dan sebagai katalisator reaksi Friedel-Crafts. BeCl_2 mudah larut dalam pelarut alkohol, eter, benzene.</p>	 <p>Berilium klorida adalah senyawa anorganik dengan rumus BeCl_2. Senyawa ini digunakan sebagai katalis dalam reaksi senyawa organik dan elektrolit yang dapat digunakan bersama dengan NaCl dalam proses elektrolitik untuk menghasilkan logam berilium.</p> <p>Sifat Berilium Klorida</p>

Berdasarkan hasil validasi aspek desain aplikasi ARMOR pada Tabel 5, poin yang paling menarik pada butir penilaian 13 dan 15. Pada butir penilaian 13, validator menyarankan untuk mengganti susunan tombol menu pada panel awal aplikasi ARMOR. Pada baris pertama merupakan tombol utama untuk mengoperasikan aplikasi yang terdiri dari AR Kamera dan petunjuk penggunaan, setelah itu disusul pada baris kedua berisikan tombol profil pengembang dan CPMK mata kuliah. Selain itu, ukuran tombol-tombol pada baris kedua lebih kecil dibandingkan tombol-tombol yang ada di baris kedua. Hal ini bertujuan agar pengguna akan segera tahu tombol utama untuk mengoperasikan aplikasi ARMOR. Salah satu indikator antarmuka pengguna (*User Interface*) yang baik adalah menampilkan hirarki visual yang jelas, agar dapat memberikan pengalaman pengguna yang mudah dalam mengoperasikan aplikasi yang digunakan (Rochmawati, 2019). Lebih lanjut hal ini sejalan terhadap hasil validasi aspek keterpakaian media pada Tabel 5, didapatkan bahwa keterpakaian media yang telah dikembangkan sudah sangat baik. Pengembangan suatu aplikasi baik untuk perangkat gawai, komputer/desktop pribadi perlu mempertimbangkan faktor keterpakaian, *user interface* (UI), dan *user experience* (UX) (Ependi dkk., 2019). Dengan demikian aspek keterpakaian media yang baik diharapkan dapat memberikan pengalaman pengguna yang memuaskan. Adapun butir penilaian 15, validator menyarankan untuk memperbaiki tata letak penulisan petunjuk penggunaan aplikasi ARMOR agar tiap butir petunjuk penggunaan menempati satu panel. Selain itu, disarankan agar memberi warna pada latar belakang penjelasan tiap fitur pada gambar petunjuk. Hasil revisi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Revisi Aspek Desain Aplikasi ARMOR



Tahap validasi terakhir adalah validasi bahasa. Validasi bahasa bertujuan untuk mengetahui validitas prototipe yang ditinjau dari aspek komunikatif, dialogis dan interaktif, komunikatif, kesesuaian dengan kaidah bahasa, dan konsistensi penggunaan istilah, simbol dan ikon. Butir penilaian dari setiap aspek dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Butir Penilaian Validasi Bahasa

Aspek Penilaian	No.	Butir Penilaian	Rerata Penilaian Validator (%)
Lugas	1.	Pemilihan kata pada e-modul tepat	92
	2.	Pemilihan kata pada aplikasi ARMOR tepat	100
	3.	Kalimat yang digunakan pada e-modul efektif.	92
	4.	Kalimat yang digunakan pada aplikasi ARMOR efektif.	100

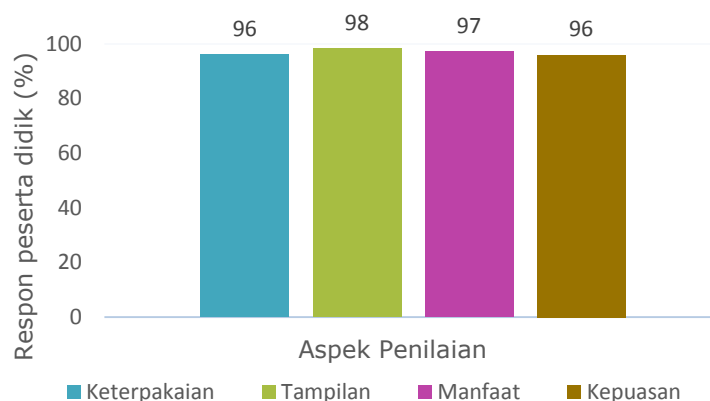
	5.	Istilah yang digunakan pada e-modul baku.	100
	6.	Istilah yang digunakan pada aplikasi ARMOR baku.	100
Komunikatif	7.	Kalimat yang digunakan pada e-modul mudah dipahami.	100
	8.	Kalimat yang digunakan pada aplikasi ARMOR mudah	100
Dialogis dan Interaktif	9.	Bahasa yang digunakan pada e-modul dapat meningkatkan motivasi peserta didik.	100
	10.	Bahasa yang digunakan pada aplikasi ARMOR dapat meningkatkan motivasi peserta didik.	100
Kesesuaian Perkembangan Peserta Didik	11.	Bahasa yang digunakan pada e-modul sesuai dengan tingkat kematangan intelektual peserta didik.	100
	12.	Bahasa yang digunakan pada aplikasi ARMOR sesuai dengan tingkat kematangan peserta didik.	100
Kesesuaian Kaidah Bahasa	13.	Tata kalimat yang digunakan untuk menyampaikan pesan pada e-modul mengacu kepada kaidah tata Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	100
	14.	Tata kalimat yang digunakan untuk menyampaikan pesan pada aplikasi ARMOR mengacu kepada kaidah tata Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	100
Penggunaan istilah, simbol, ikon	15.	Penggunaan istilah, simbol, dan ikon pada e-modul sudah konsisten.	100
	16.	Penggunaan istilah, simbol, dan ikon pada aplikasi ARMOR sudah konsisten.	100

Berdasarkan Tabel 9, menunjukkan bahwa secara keseluruhan validitas bahasa yang disajikan dalam prototipe e-modul dinyatakan sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa bahasa di dalam e-modul sederhana. Bahasa yang jelas dan tidak memberikan makna ganda serta mudah dimengerti dapat membantu pembaca memahami maksud dan makna yang sedang dipelajari (Panjaitan dkk., 2021). Pada aspek kelugasan bahasa terdapat beberapa perbaikan kesalahan penulisan seperti penggunaan huruf kapital, kata penghubung, kebakuan istilah, dan tanda baca.

Setelah tahap validasi dan revisi selesai, tahap berikutnya adalah tahap implementasi. Pada tahap ini dilakukan uji respon yang melibatkan 50 responden mahasiswa tahun kedua dan ketiga program studi Pendidikan Kimia FKIP, Universitas Tanjungpura. Tujuan

dari dilakukannya uji respon ini adalah untuk mengetahui tanggapan peserta didik terhadap aspek keterpakaian, tampilan, manfaat, serta kepuasan dalam menggunakan e-modul dan aplikasi ARMOR. Uji respon dilakukan selama 90 menit dengan menggunakan metode daring sesuai dengan aturan pembatasan sosial selama masa pandemi covid-19, Juni 2021.

Tahap berikutnya adalah evaluasi. Tahap ini bertujuan untuk mengukur respon/tanggapan yang diberikan oleh peserta didik terhadap e-modul dan aplikasi ARMOR yang telah dikembangkan. Berikut adalah hasil uji respon dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Persentase Hasil Uji Respon Peserta Didik Aspek Keterpakaian, Tampilan, Manfaat, dan Kepuasan

Berdasarkan hasil uji respon mahasiswa yang telah dilakukan, didapatkan hasil rata-rata keseluruhan aspek sebesar 97%. Hal ini menandakan respon mahasiswa terhadap prototipe yang dikategorikan sangat baik. Hasil uji respon peserta didik menunjukkan respon yang sangat positif bahwa produk yang digunakan dapat membantu memvisualisasikan bentuk molekul, mempermudah memahami materi bentuk molekul, dan memotivasi pengguna untuk belajar secara mandiri. Penemuan ini sejalan dengan beberapa hasil penelitian terdahulu, menurut Krüger dkk (2019) beberapa karakteristik dari AR adalah kemampuannya dalam menawarkan visualisasi objek virtual 3D pada lingkungan dunia nyata dan secara interaktif dapat memberikan pengalaman kepada pengguna dalam berinteraksi dengan objek virtual. Hal tersebut menunjukkan bahwa visualisasi dan interaksi antara pengguna dengan objek bentuk molekul dalam aplikasi ARMOR pada lingkungan yang nyata mempermudah peserta didik mengimajinasikan dan memvisualisasikan konsep bentuk molekul yang bersifat abstrak. Hal ini didukung oleh hasil studi Cole dkk (2020) yang menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang positif antara penalaran spasial siswa dengan pemahaman konten kimia. Selain itu, pengaplikasian AR dalam uji coba pengguna menunjukkan respon yang sangat positif terhadap motivasi belajar siswa pada era digitalisasi saat ini. Hal ini dikarekan pengaplikasian AR dalam kelas pada generasi yang tumbuh dan terbiasa berinteraksi dengan teknologi memberikan hasil yang efektif dalam menjaga tingkat motivasi yang tinggi dan keterlibatan antar siswa (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018).

Dengan hasil respon peserta didik yang sangat positif ini, menunjukkan bahwa pengaplikasian AR dalam pembelajaran kimia sangat berpeluang dalam menyelesaikan masalah belajar yang diakibatkan sulitnya mentransfer pemahaman konsep kimia yang abstrak dari guru ke siswa dan memberikan kesan yang sederhana serta menyenangkan dalam mempelajari sains termasuk ilmu kimia. Hasil studi Kumar dkk (2015) pembelajaran menggunakan AR dapat mempermudah peserta didik dalam mempelajari suatu konsep lebih banyak dibandingkan media konvensional. Hal ini dikarenakan media konvensional

seperti modul/buku ajar biasa kurang efektif dalam memotivasi peserta didik dalam belajar (Karlina dkk., 2021)

Kendala yang ditemui selama uji coba pengguna, seperti tidak semua *smartphone* android memiliki kamera, prosesor, dan ruang penyimpanan yang memampuni untuk mengoperasikan aplikasi ARMOR dengan lancar. Spesifikasi minimum yang harus dimiliki adalah android versi OS 4.0 Jelly Bean, RAM 512 MB, ruang kosong memori minimal 200 MB dan kamera belakang 13 MB (Fauzan dkk., 2020). Hasil investigasi yang dilakukan selama uji coba pengguna, masalah pada ruang penyimpanan memori yang kurang lega cukup sering terjadi. Dengan demikian pengguna harus menghapus sebagian berkas yang tidak terpakai, agar dapat menginstal aplikasi. Selain itu, kendala yang ditemukan adalah hasil citra kamera *smartphone* yang kurang tajam (buram) yang membuat *marker* sulit untuk terpindai dengan baik. Masalah lainnya yang ditemukan adalah terkait pencahayaan ruangan yang kurang terang, sehingga *marker* sulit untuk di deteksi dan dipindai. Dengan pencahayaan yang cukup pada lingkungan di sekitar *marker*, memberikan pengaruh yang baik dalam memunculkan objek 3D di dalam aplikasi (Stanaya dkk., 2019).

Kesimpulan

E-modul bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR berbasis multipel representasi dan aplikasi ARMOR berdasarkan hasil validasi ahli dinyatakan sangat valid dan dapat digunakan tanpa perbaikan. Hasil uji respon mahasiswa menunjukkan respon yang positif. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa e-modul dan aplikasi ARMOR mudah digunakan, memiliki tampilan yang menarik, dapat membantu memvisualisasikan konsep bentuk molekul, dan dapat memberikan rasa senang kepada pengguna.

Daftar Pustaka

- Abdel-Halim, H. 2020. The effectiveness of using three-dimensional visualization tools to improve students' understanding of medicinal chemistry and advanced drug design concepts. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19(4):170–187. <https://doi.org/10.26803/ijlter.19.4.11>.
- Abdulrahman, M.D., Faruk, N., Oloyede, A.A., Surajudeen-Bakinde, N.T., Olawoyin, L.A., Mejabi, O.V., Imam-Fulani, Y.O., Fahm, A.O., & Azeez, A.L. 2020. Multimedia tools in the teaching and learning processes: a systematic review. *Heliyon*, 6(11):1–14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312>.
- Adom, D., Mensah, J.A., & Dake, D.A. 2020. Test, measurement, and evaluation: understanding and use of the concepts in education. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 9(1):109–119. <https://doi.org/10.11591/ijere.v9i1.20457>.
- Afnan, Muhammad, K., Khan, N., Lee, M.Y., Imran, A.S., & Sajjad, M. 2021. School of the future: a comprehensive study on the effectiveness of augmented reality as a tool for primary school children's education. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11):5277 <https://doi.org/10.3390/app11115277>.
- Akbar, S. 2013. *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Remaja Rosda Karya.
- Anggriawan, B., Effendy, & Budiasih, E. 2017. Kemampuan spasial dan kaitannya dengan pemahaman mahasiswa terhadap materi simetri. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian*,

dan Pengembangan, 2(12):1612–1619. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v2i12.10299>

- Asmar, A., & Suryadarma, I.G.P. 2021. Pengembangan perangkat pembelajaran IPA terpadu model nested berbasis perahu phinisi untuk meningkatkan keterampilan komunikasi dan pengetahuan konseptual. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(4):565–578. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i4.20994>.
- Astuti, W. 2020. Implementasi metode super resolusi untuk meningkatkan kualitas citra hasil screenshot. *Jurikom (Jurnal Riset Komputer)*, 7(3):432-440. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v7i3.2129>.
- Ayuningtyas, R. 2016. Analisis kualitas buku siswa kurikulum 2013 kelas VII sekolah menengah pertama. *Indonesian Journal of Curriculum and Educational Technology Studies*, 4(1):14–24. <https://doi.org/10.15294/ijcets.v4i1.14273>.
- Azzajjad, M.F., Ahmar, D.S., & Syahrir, M. 2020. The effect of animation media in discovery learning model on students' representation ability on chemical equilibrium materials. *Journal of Applied Science, Engineering, Technology, and Education*, 2(2):204–209. <https://doi.org/10.35877/454ri.asci22125>.
- Behmke, D., Kerven, D., Lutz, R., Paredes, J., Pennington, R., Brannock, E., Deiters, M., Rose, J., & Stevens, K. 2018. Augmented reality chemistry: transforming 2-D molecular representations into interactive 3-D structures. *Proceedings of the Interdisciplinary STEM Teaching and Learning Conference*, 2(1):5–11. <https://doi.org/10.20429/stem.2018.020103>.
- Biswajit, B. 2019. Misconceptions in shape of molecule: evidence from 9th grade science students. *Educational Research and Reviews*, 14(12):410–418. <https://doi.org/10.5897/err2019.3755>.
- Branch, R. M. 2009. Instructional design: the ADDIE approach. In *encyclopedia of evolutionary psychological science*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>.
- Cole, M., Wilhelm, J., Vaught, B.M.M., Fish, C., & Fish, H. 2020. The relationship between spatial ability and the conservation of matter in middle school. *Education Sciences*, 11(1):49-63. <https://doi.org/10.3390/educsci11010004>.
- Desintha, S. 2019. Semiotic analysis of book cover "soulscape road" by oscar motuloh. *VISUALITA*, 8(1):1–14. <https://doi.org/10.33375/vslt.v8i1.1234>.
- Djoa, D.D., & Kusumaningtyas, P. 2021. Design and feasibility of exe learning media on the topic of chemical bonding. *International Journal of Active Learning*, 6(2):76–84.
- Dwiningsih, K., & Safitri, N.Y. 2020. Development interactive multimedia using 3D virtual modelling on intermolecular forces matter. *International Journal of Chemistry Education Research*, 3(3):17–25. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol4.iss1.art3>.
- Phon, D.N.A.L.E., Rahman, M.H.A., Utama, N. I., Ali, M. B., Halim, N.D.A., & Kasim, S. 2019. The effect of augmented reality on spatial visualization ability of elementary school student. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(2):624–629. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.4971>.

- Ependi, U., Kurniawan, T.B., & Panjaitan, F. 2019. System usability scale vs heuristic evaluation: a review. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 10(1):65–74. <https://doi.org/10.24176/simet.v10i1.2725>.
- Erlina, Cane, C., & Williams, D.P. 2018. Prediction! the VSEPR game: using cards and molecular model building to actively enhance students' understanding of molecular geometry. *Journal of Chemical Education*, 95(6):991–995. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00687>.
- Erlina, E., Eny, E., & Rahmat, R. 2021. Using simple molecular model to enhance students' understanding on molecular geometry based on VSEPR theory. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Kimia*, 10(1):24–33.
- Farida, I., Mayangsari, D., & Irwansyah, F.S. 2020. Learning media based on three level representation and inquiry for electrolysis cell materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 1503(1):12037. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1503/1/012036>.
- Fauzan, A., Muriyatmoko, D., & Utama, S.N. 2020. Penerapan teknologi augmented reality pada media pembelajaran bahasa arab: durus al-lughah jilid 1. *ELSE (Elementary School Education Journal)*, 4(1):63–78. <https://doi.org/10.30651/else.v4i1.4379>.
- Fujiwara, D., Kellar, K., Humer, I., Pietroszek, K., & Eckhardt, C. 2020. VSEPR theory, an interactive and immersive virtual reality. *Proceedings of 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network, iLRN 2020, June*, p.140–146. <https://doi.org/10.23919/iLRN47897.2020.9155185>.
- Gall, M.D., Gall, J.P., & Borg, W.R. 1984. Educational research: an introduction. *British Journal of Educational Studies*, 32(3):274. <https://doi.org/10.2307/3121583>.
- Galvez, R. 2018. Effectiveness of animated visuals for the teaching of chemical bonding in junior high school chemistry. *International Journal of Education and Research*, 6(1):119–128.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. 2020. Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1):307–330. <https://doi.org/10.1039/c8rp00301g>.
- Harackiewicz, J.M., Smith, J.L., & Priniski, S.J. 2016. Interest matters: the importance of promoting interest in education. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2):220–227. <https://doi.org/10.1177/2372732216655542>.
- Harle, M. & Towns, M. 2011. A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88(3):351–360. <https://doi.org/10.1021/ed900003n>.
- Herpika, F. & Mawardi, M. 2021. Validity of the flipped classroom learning system based on guided inquiry on molecular forms using augmented reality for class X SMA / MA students. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 27(4):232–236.
- Hidayah, R. & Destari, T.Y. 2020. *The practicality of scrap-mod as a learning media on molecular geometry*. 95:222–226. <https://doi.org/10.2991/miseic-19.2019.52>.

- Ibáñez, M.B., & Delgado-Kloos, C. 2018. Augmented reality for STEM learning: a systematic review. *Computers and Education*, 123(9):109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>.
- Ibnu, S. 2017. The influence of students' inquiry learning and spatial ability toward molecular shape topic. *Jurnal Pendidikan Sains*, 5(2):64–71. <https://doi.org/dx.doi.org/10.17977/jps.v5i2.9033>.
- Irwansyah, F.S., Yusuf, Y.M., Farida, I., & Ramdhani, M.A. 2018. Augmented reality (AR) technology on the android operating system in chemistry learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1):1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012068>.
- Karlina, D.M., Pada, A.U.T., Khairil, K., Artika, W., & Abdullah, A. 2021. Efektivitas modul elektronik berbasis web dipadu problem based learning terhadap motivasi belajar pada materi pencemaran lingkungan. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(1): 139–150. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i1.18135>.
- Kiernan, N.A., Manches, A., & Seery, M.K. 2021. The role of visuospatial thinking in students' predictions of molecular geometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3):626–639. <https://doi.org/10.1039/d0rp00354a>.
- Krüger, J.M., Buchholz, A., & Bodemer, D. 2019. Augmented reality in education: three unique characteristics from a user's perspective. *ICCE 2019 - 27th International Conference on Computers in Education, Proceedings*, 1, 412–422.
- Kumar, S., Devi, S., & Puranam, C. 2015. Augmented reality in enhancing qualitative education. *International Journal of Computer Applications*, 132(14):41–45. <https://doi.org/10.5120/ijca2015907624>.
- Kusdiyanti, H., Zanky, M.N., & Wati, A.P. 2020. Blended learning for augmented reality to increase student competitiveness the filling subject toward making Indonesia 4.0. *KnE Social Sciences*, 4(7):88–100. <https://doi.org/10.18502/kss.v4i7.6845>.
- Kustyarini, K., Utami, S., & Koesmijati, E. 2020. The importance of interactive learning media in a new civilization era. *European Journal of Open Education and E-learning Studies*, 5(2):48–60. <https://doi.org/10.46827/ejoe.v5i2.3298>.
- Lau, X.C., Wong, Y.L., Wong, J.E., Koh, D., Sedek, R., Jamil, A.T., Ng, A.L.O., Hazizi, A.S., Ruzita, A.T., & Poh, B.K. 2019. Development and validation of a physical activity educational module for overweight and obese adolescents: CERGAS programme. *International journal of environmental research and public health*, 16(9):1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091506>.
- Lerik, M.D.C. 2016. Kapasitas memori kerja dalam pengambilan keputusan. *Buletin Psikologi*, 24(1):32–42. <https://doi.org/10.22146/bpsi.12678>.
- Liono, R.A., Amanda, N., Pratiwi, A., & Gunawan, A.A.S. 2021. A systematic literature review: learning with visual by the help of augmented reality helps students learn better. *Procedia Computer Science*, 179(1):144–152. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.12.019>.

- Lowrie, T., Logan, T., & Hegarty, M. 2019. The influence of spatial visualization training on students' spatial reasoning and mathematics performance. *Journal of Cognition and Development*, 20(5):729–751. <https://doi.org/10.1080/15248372.2019.1653298>.
- Luviani, S.D., Mulyani, S., & Widhiyanti, T. 2021. A review of three levels of chemical representation until 2020. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1):12206. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012206>.
- Mansor, N., Zakaria, R., Rashid, R.A., Arifin, R.M., Rahim, B.H.A., Zakaria, R., & Mohd, M.T. 2020. A review survey on the use computer animation in education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 917(1):12021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/917/1/012021>.
- Mauliandri, R., Maimunah, M., & Roza, Y. 2021. Kesesuaian alat evaluasi dengan indikator pencapaian kompetensi dan kompetensi dasar pada RPP matematika. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(1):803–811. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v5i1.436>.
- Mekwong, S., & Chamrat, S. 2021. The development learning activities using three levels of chemical representation for enhance upper secondary students' organic chemistry concepts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1835(1):12027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012027>.
- Mustaqim, I. 2016. Pemanfaatan augmented reality sebagai media pembelajaran. *Jurnal pendidikan teknologi dan kejuruan*, 13(2):174–182. <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v13i2.8525>.
- Nazar, M., Aisyi, R., Rahmayani, R.F.I., Hanum, L., Rusman, R., Puspita, K., & Hidayat, M. 2020. Development of augmented reality application for learning the concept of molecular geometry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1460(1):1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1460/1/012083>.
- Nazar, M., Zulfadli, Oktarina, A., & Puspita, K. 2020. Pengembangan aplikasi pembelajaran interaktif berbasis android untuk membantu mahasiswa dalam mempelajari materi larutan elektrolit dan nonelektrolit. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 8(1):39–54. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v8i1.16047>.
- Panjaitan, R.G.P., Titin, & Wahyuni, E.S. 2021. Kelayakan booklet inventarisasi tumbuhan berkhasiat obat sebagai media pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(1):11–21. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i1.17966>.
- Pérez, J.R.B., Pérez, M.E.B., Calatayud, M.L., & Sabater, J.V. 2017. Student's misconceptions on chemical bonding: a comparative study between high school and first year university students. *Asian Journal of Education and e-Learning*, 5(1):1–15.
- Pratiwi, C.P. & Ediyono, S. 2019. Analisis keterampilan guru sekolah dasar dalam menerapkan variasi pembelajaran. *Jurnal Sekolah*, 4(1):1–8.
- Puspitarini, Y.D., & Hanif, M. 2019. Using learning media to increase learning motivation in elementary school. *Anatolian Journal of Education*, 4(2):53–60. <https://doi.org/10.29333/aje.2019.426a>.

- Rahmawati, Y., Dianhar, H., & Arifin, F. 2021. Analysing students' spatial abilities in chemistry learning using 3D virtual representation. *Education Sciences*, 11(4):1–22. <https://doi.org/10.3390/educsci11040185>.
- Raja, R., & Nagasubramani, P.C. 2018. Impact of modern technology in education. *Journal of Applied and Advanced Research*, 3(1):33–35. <https://doi.org/10.21839/jaar.2018.v3S1.165>.
- Ramadhan, S., Mardapi, D., Prasetyo, Z.K., & Utomo, H.B. 2019. The development of an instrument to measure the higher order thinking skill in physics. *European Journal of Educational Research*, 8(3):743–751. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.8.3.743>.
- Ramful, A., Lowrie, T., & Logan, T. 2017. Measurement of spatial ability: construction and validation of the spatial reasoning instrument for middle school students. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(7):709–727. <https://doi.org/10.1177/0734282916659207>.
- Ningsih, I.N.I.S.R.R. 2020. The use of augmented reality cards to improve science learning outcomes about the effect of force on the shape and motion of objects. *Journal of Education Technology*, 4(3):228–234. <https://doi.org/10.23887/jet.v4i3.28528>.
- Rizkiana, F., & Apriani, H. 2020. Simulasi PhET: pengaruhnya terhadap pemahaman konsep bentuk dan kepolaran molekul. *Quantum: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 11(1): 1-7. <https://doi.org/10.20527/quantum.v11i1.6412>.
- Rochmawati, I. 2019. Analisis user interface situs web iwearup.com. *Visualita*, 7(2):31-44. <https://doi.org/10.33375/vslt.v7i2.1459>.
- Roslan, R.K. & Ahmad, A. 2017. 3D spatial visualisation skills training application for school students using hologram pyramid. *International Journal on Informatics Visualization*, 1(4):170–174. <https://doi.org/10.30630/joiv.1.4.61>.
- San, S.M., Widoretno, S., Ariyanto, J., Sajidan, & Dwiastuti, S. 2020. Increase the hierarchy concept map score through the modification in the 2nd stage of problem-based learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2):22057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022057>.
- Santos, V.C., & Arroio, A. 2016. The representational levels: influences and contributions to research in chemical education. *Journal of Turkish Science Education*, 13(1):3–18. <https://doi.org/10.12973/tused.10153a>.
- Saraswati, T.E., Saputro, S., Ramli, M., Praseptiangga, D., Khasanah, N., & Marwati, S. 2017. Understanding valence-shell electron-pair repulsion (VSEPR) theory using origami molecular models. *Journal of Physics: Conference Series*, 795(1):12066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/795/1/012066>.
- Schurigin, M.W. 2018. Visual memory, the long and the short of it: a review of visual working memory and long-term memory. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 80(5):1035–1056. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1522-y>.

- Shui-Te, L., Kusuma, I.W., Wardani, S., & Harjito, H. 2018. Hasil identifikasi miskonsepsi siswa ditinjau dari aspek makroskopis, mikroskopis, dan simbolik (MMS) pada pokok bahasan partikulat sifat materi di taiwan. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 12(1):2019-2030. <https://doi.org/10.15294/jipk.v12i1.13295>.
- Stanaya, I.K.T.A., Sukajaya, I.N., Gunadi, I.G.A. 2019. Analisis efek pencahayaan pada performa augmented reality book coral sponges menggunakan metode marker-based tracking. *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIKI)*, 4(2):1-9. <https://doi.org/10.23887/jik.v4i2.2770>.
- Stojanovska, M., Petruševski, V.M., & Šoptrajanov, B. 2017. Study of the use of the three levels of thinking and representation. *Contributions, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences*, 35(1):37-46. <https://doi.org/10.20903/csnmbs.masa.2014.35.1.52>.
- Sujak, K.B., Gnanamalar, E., & Daniel, S. 2018. Understanding of macroscopic, microscopic and symbolic representations among form four students in solving stoichiometric problems. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 5(3), 83-96.
- Sukmawati, W. 2019. Analisis level makroskopis , mikroskopis dan simbolik mahasiswa dalam memahami elektrokimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 5(2):195-204. <https://doi.org/10.21831/jipi.v5i2.27517>.
- Sunyono, S., & Meristin, A. 2018. The effect of multiple representation-based learning (MRL) to increase students' understanding of chemical bonding concepts. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(4):399-406. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i4.16219>.
- Sunyono, S., & Sudjarwo, S. 2018. Mental models of atomic structure concepts of 11th grade chemistry students. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 19(1):1-21.
- Uyulgan, M.A., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. 2014. Assessing the students' understanding related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6): 839-855. <https://doi.org/10.33225/jbse/14.13.839>.
- Vlacholia, M., Vosniadou, S., Roussos, P., Salta, K., Kazi, S., Sigalas, M., & Tzougraki, C. 2017. Changes in visual/spatial and analytic strategy use in organic chemistry with the development of expertise. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4):763-773. <https://doi.org/10.1039/c7rp00036g>.
- Wahid, A., & Anra, H. 2017. Cross platform aplikasi augmented reality untuk mata pelajaran kimia struktur molekul. *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, 5(3): 1-5.
- Wahyudi, U.M.W., & Arwansyah, Y.B. 2019. Developing augmented reality-based learning media to improve student visual spatial intelligence. *Indonesian Journal of Curriculum and Educational Technology Studies*, 7(2):89-95. <https://doi.org/10.15294/ijcets.v7i2.36039>.
- Weng, C., Otanga, S., Christiano, S.M., & Chu, R.J.C. 2020. Enhancing students' biology learning by using augmented reality as a learning supplement. *Journal of Educational Computing Research*, 58(4):747-770. <https://doi.org/10.1177/0735633119884213>.

- Widiastari, K., & Redhana, I.W. 2021. Multiple representation-based chemistry learning textbook of colloid topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1):12185. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012185>.
- Wuttisela, K. 2017. Authentic assessment tool for the measurement of students' understanding of the valence shell electron pair repulsion theory. *Universal Journal of Educational Research*, 5(9):1549–1553. <https://doi.org/10.13189/ujer.2017.050912>.
- Yuni, R & Afriadi, R. 2020. Pengembangan modul pembelajaran kondisional untuk belajar dari rumah (BDR). *Jurnal Handayam*, 11(2):144–152. <https://doi.org/10.24114/jh.v11i2>.
- Yustiqvar, M., Gunawan, G., & Hadisaputra, S. 2019. Green chemistry based interactive multimedia on acid-base concept. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364(1):12006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012006>.