



Pengembangan Modul Berbasis Multipel Representasi dengan Bantuan Teknologi *Augmented Reality* untuk Membantu Siswa Memahami Konsep Ikatan Kimia

Ririn Apriani, Andi Ifriani Harun*, Erlina, Rachmat Sahputra, Maria Ulfah

Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*Email: andi.ifriani@fkip.untan.ac.id

DOI: 10.24815/jupi.v5i4.23260

Article History:

Received: October 31, 2021
Accepted: December 1, 2021

Revised: November 28, 2021
Published: December 6, 2021

Abstract. A good understanding of the three levels of chemical representations is required to understand the concepts of chemical bonding. However, most students are difficult to understand chemical bonding topics due to the abstract concepts and the learning resources used don't fully integrate the three levels of chemical representations. Therefore, learning resources that cover all of the chemical representations and visualize the abstract concepts are needed. The purpose of this study is to determine the level of validity and responses of teachers and students to the developed chemical bonding module based on multiple representations assisted by AR technology. This type of research is research and development that refers to the ADDIE instructional design model. The instrument used in this research is the sheet of validity and the response questionnaire. The collected data were analyzed using percentage analysis techniques. The product of this research is a chemical bond module based on multiple representations and an augmented reality chemistry simulator of chemical bonding application. The results of the expert's validation show that the average percentage of content, media, and language validity respectively are 99, 95, and 97% with very valid criteria, so that it can be used in the learning process. In addition, teachers and students gave a very good response to the product with a percentage of 90 and 87% consecutively. These findings indicate that the modules assisted by AR technology could support the chemistry teachers to explain the chemical bonding topic and help students visualize the abstract concepts of chemical bonds.

Keywords: Module, Augmented Reality, Multiple Representations, Chemical Bond, Learning Resources.

Pendahuluan

Representasi kimia penting untuk diterapkan dalam pembelajaran agar siswa dapat memahami konsep secara menyeluruh. Sebagaimana yang diketahui bahwa konsep kimia diperoleh dari tiga tingkatan yaitu: 1) level makroskopis yang bisa dilihat, disentuh, & dicium; 2) level submikroskopis yang berkaitan dengan atom, molekul, ion, & struktur; 3) level simbolik seperti rumus, persamaan, simbol, serta grafik (Stojanovska, dkk., 2017). Pemahaman yang baik tentang pengetahuan level makroskopis, submikroskopis, dan simbolik diperlukan untuk menjelaskan konsep ilmu kimia (Sukmawati, 2019). Oleh sebab itu, pembelajaran kimia harus menitikberatkan pada pemahaman ketiga level representasi kimia agar dapat mengembangkan pemahaman siswa tentang fenomena kimia (Enero & Umesh, 2018; Ferreira & Lawrie, 2019; Mekwong & Chamrat, 2021; Mindayula & Sutrisno, 2020; Pikoli, 2020).

Ikatan kimia merupakan satu diantara konsep dasar kimia yang sulit dipahami. Hal tersebut dikarenakan materi ikatan kimia mencakup ketiga level representasi dan merupakan konsep dasar yang harus dikuasai agar dapat memahami topik ilmu kimia lainnya (Agustina, 2017). Topik ikatan kimia sulit untuk dipahami karena umumnya mengandung konsep-konsep yang abstrak (Fahmi & Irhasyurna, 2017). Hasil penelitian Hidayat dkk (2019) menunjukkan bahwa pada materi ikatan kimia, pemahaman siswa pada level submikroskopik masih tergolong rendah. Hasil penelitian Safitri, dkk. (2018) menunjukkan bahwa persentase pemahaman konsep siswa terhadap ikatan ion sebesar 59,71%; sebesar 65,8% pada ikatan kovalen; hanya 44,93% siswa paham konsep aturan oktet; hanya 50% siswa paham tentang kepolaran ikatan; 41,31% pada konsep ikatan logam; dan hanya sebesar 34,78% yang paham tentang gaya antar molekul.

Berdasarkan hasil studi pendahuluan yang dilakukan dengan mewawancarai guru kimia menunjukkan bahwa tingkat ketuntasan nilai ulangan harian (UH) siswa pada materi ikatan kimia masih dibawah 50%. Guru mengatakan bahwa kebanyakan siswa sulit menentukan jenis ikatan kimia yang terbentuk jika ada dua atau lebih atom yang berikatan. Siswa juga kesulitan dalam menjelaskan proses pembentukan ikatan kovalen, kovalen koordinasi, dan logam. Sebagian besar siswa dapat menjelaskan proses pembentukan ikatan ion, namun masih ada siswa yang sulit memahami konsep ikatan ion. Menurut guru, sumber belajar yang digunakan masih terasa kurang maksimal, dan belum dapat memvisualisasikan ketiga level representasi kimia secara utuh. Selain itu, guru juga menggunakan video animasi di *YouTube* untuk menjelaskan level submikroskopis. Akan tetapi, sebagian besar video menyajikan materi yang terbatas, sehingga guru merasa kesulitan untuk mencari video sesuai keinginan. Video yang digunakan guru masih berupa animasi dua dimensi (2D). Animasi dua dimensi masih kurang dalam memvisualisasikan konsep yang sebenarnya (Nasir, dkk., 2018). Penelitian Saraswati, dkk. (2017) juga menyatakan bahwa struktur molekul yang disajikan dalam bentuk 2D akan membuat siswa merasa kesulitan dalam membayangkan bentuk struktur molekul yang sebenarnya.

Penggunaan bahan ajar yang dapat mengintegrasikan ketiga level representasi kimia dan dapat memvisualisasikan konsep ikatan kimia pada level submikroskopis secara tiga dimensi (3D) dengan bantuan teknologi dapat menjadi solusi atas permasalahan yang telah dijabarkan diatas. Bahan ajar berbasis multipel representasi dapat mempermudah memahami konsep-konsep sains yang bersifat abstrak (Sianturi & Abdurrahman, 2019). Pembelajaran dengan pendekatan multipel representasi mampu menjembatani proses pemahaman siswa terhadap konsep kimia (Wiyarsi, dkk., 2018). Dengan demikian, modul berbasis multipel representasi dapat menjadi alternatif bahan ajar yang dapat digunakan guru.

Modul dapat digunakan untuk mengefektifkan pemahaman konsep kimia secara optimal. Modul pembelajaran disusun serta dirancang secara runtut dan teratur agar siswa dapat belajar sesuai dengan kemampuannya sendiri, tanpa bergantung pada guru (Yuni & Afriadi, 2020). Berdasarkan hasil penelitian Auliza, dkk. (2019) yang dilakukan di SMA Adisucipto Sungai Raya, menunjukkan bahwa modul berbasis multipel representasi dapat meningkatkan kemampuan multipel representasi siswa dengan nilai N-Gain sebesar 0,54 pada aspek makroskopis, sebesar 0,68 pada aspek submikroskopis dan sebesar 0,38 pada aspek simbolik.

Sumber belajar yang erat kaitannya dengan visualisasi dapat menjadi hal penting yang dapat memudahkan siswa memahami konsep abstrak. Adanya bantuan teknologi akan mempermudah memahami konsep kimia karena dapat membantu memvisualisasikan level submikroskopis (Zulfahmi, dkk., 2021). Level submikroskopis dapat dipahami dengan mudah melalui pemodelan 3D (Sari, dkk., 2018). Media pembelajaran yang menggabungkan buku ajar dan teknologi berdampak positif bagi siswa, terutama dalam hal belajar (Nurdiyanti, dkk., 2017). Penelitian terdahulu juga menyarankan untuk memanfaatkan teknologi dalam proses pembelajaran agar motivasi belajar siswa dapat

meningkat (Puspitarini & Hanif, 2019). Salah satu teknologi yang dapat disematkan dalam buku ajar adalah teknologi *augmented reality* (AR). Teknologi AR dapat dimanfaatkan dalam bidang pendidikan. Di Indonesia, teknologi AR lebih sering dimanfaatkan di dunia hiburan dan permainan atau *game*, padahal di negara lain teknologi ini dimanfaatkan dalam proses pembelajaran (Fitriani, dkk., 2019). Teknologi AR adalah suatu teknologi yang dapat menghubungkan keadaan dunia maya dan dunia nyata yang diproyeksikan dalam waktu yang nyata secara bersamaan dengan bentuk 2D maupun 3D (Mustaqim & Kurniawan, 2017). Teknologi AR dapat membantu memvisualisasikan konsep yang tergolong abstrak (Mustaqim, 2016). Hasil penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi AR dalam pelajaran sains dapat meningkatkan hasil belajar siswa (Ningsih, 2020; Weng, dkk., 2019) dan aktivitas belajar siswa (Nurdiyanti, dkk., 2017). Guru dapat menggunakan teknologi AR sebagai media pembelajaran yang interaktif, menyenangkan dan mudah digunakan (Mustaqim & Kurniawan, 2017).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dilakukan kajian tentang pengembangan modul berbasis multipel representasi pada materi ikatan kimia yang terintegrasi dengan teknologi AR. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat validitas serta respon guru dan siswa terhadap modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dengan bantuan teknologi AR. Harapannya, penelitian ini dapat menghasilkan alternatif bahan ajar yang dapat membantu siswa memvisualisasikan konsep abstrak dari ikatan kimia dan membantu guru menyampaikan materi.

Metode

Penelitian ini termasuk jenis penelitian dan pengembangan atau *research and development* (R&D). Penelitian ini mengacu pada model desain instruksional ADDIE yang terdiri dari tahap *analyze, design, develop, implement, dan evaluate* (Branch, 2009).

Tahap *analyze* dilakukan wawancara dengan guru kimia. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hambatan yang dihadapi siswa, sumber belajar yang digunakan, dan kompetensi yang harus dicapai. Selain itu, peneliti juga menganalisis kekurangan dari sumber belajar yang digunakan guru.

Pada tahap *design*, peneliti menentukan tujuan pembelajaran, mengumpulkan referensi, mempersiapkan peralatan dan *software* yang diperlukan untuk pengembangan produk. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan instrumen penelitian yaitu kuesioner uji validitas dan uji respon serta membuat rancangan produk dalam bentuk *storyboard*.

Pada tahap *develop*, dilakukan pengembangan produk sesuai dengan *storyboard* yang telah dirancang. Instrumen penelitian yang telah dibuat akan divalidasi terlebih dahulu oleh 2 validator. Hasil validasi instrumen penelitian dianalisis menggunakan rumus (Gregory, 2014) sebagai berikut.

$$\text{Koefisien validitas isi} = \frac{D}{(A+B+C+D)}$$

Selanjutnya, diinterpretasikan hasil perhitungan sesuai dengan indeks kesepakatan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indeks kesepakatan koefisien validitas isi

Indeks	Kategori
< 0,4	Validitas Rendah
0,4-0,8	Validitas Sedang
> 0,8	Validitas Tinggi

(Sumber: Retnawati, 2016)

Setelah itu, dilakukan uji validitas prototipe yang terdiri dari validasi media, bahasa, dan materi. Proses validasi melibatkan 3 ahli media, 3 ahli bahasa dan 3 ahli materi. Aspek yang ingin diukur dari validasi media, yaitu aspek desain media dan *software*. Pada validasi bahasa, validitas ditinjau dari aspek lugas, komunikatif, kesesuaian dengan kaidah Bahasa Indonesia, kesesuaian bahasa dengan jenjang pendidikan siswa, serta penggunaan istilah, simbol, dan ikon. Selanjutnya validasi materi terdiri dari aspek desain pembelajaran, penyajian, dan materi. Pemberian skor pada lembar kuesioner mengacu pada skala Likert yang diadaptasi dari Sugiyono (2016), yang terdiri dari skor 1 (sangat tidak setuju), 2 (tidak setuju), 3 (setuju), dan 4 (sangat setuju). Hasil penilaian validator berupa komentar dan saran akan menjadi bahan evaluasi bagi peneliti untuk melakukan perbaikan. Penilaian validator berupa angka/skor akan dianalisis menggunakan teknik analisis persentase yang diadaptasi dari Akbar (2013). Besarnya tingkat validitas prototipe dapat dihitung dengan cara membagi total skor yang diberikan validator dengan skor maksimal dan kemudian dikalikan 100%. Setelah hasil persentase penilaian validator diperoleh, maka dapat dilihat kategori kevalidan dari media berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2. Kategori persentase kevalidan

Kriteria Validitas (%)	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)

Pada tahap *implement* akan dilakukan uji respon yang melibatkan 5 orang guru kimia dan 25 siswa MAN 2 Pontianak. Uji respon bertujuan untuk mengetahui respon atau tanggapan guru dan siswa terhadap produk sesuai dengan aspek yang ingin diukur. Dasar pemilihan responden siswa yaitu mereka yang sudah mempelajari materi ikatan kimia. Aspek yang ingin diukur pada uji respon guru adalah aspek desain pembelajaran, tampilan media, materi, *software*, dan manfaat. Sementara aspek yang ingin diukur pada uji respon siswa, yaitu aspek tampilan media, materi, *software*, dan manfaat. Skala pengukuran yang digunakan yaitu skala Likert, sama seperti uji validitas.

Pada tahap *evaluate*, akan diukur hasil uji respon. Hasil tanggapan guru dan siswa yang berupa angka/skor akan dianalisis menggunakan teknik analisis persentase yang diadaptasi dari (Akbar, 2013). Persentase tanggapan responden dapat ditentukan dengan cara membagi total skor yang diberikan responden dengan skor maksimal dan kemudian dikalikan dengan 100%. Setelah itu, ditentukan kategori tanggapan atau respon guru dan siswa sesuai dengan kategori uji respon pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori penilaian uji respon

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

Selain itu, penilaian responden yang berupa komentar dan saran akan menjadi bahan evaluasi untuk memperbaiki prototipe. Pada tahap ini, ditentukan juga kendala yang dialami oleh responden selama pengoperasian prototipe yang dikembangkan.

Hasil dan Pembahasan

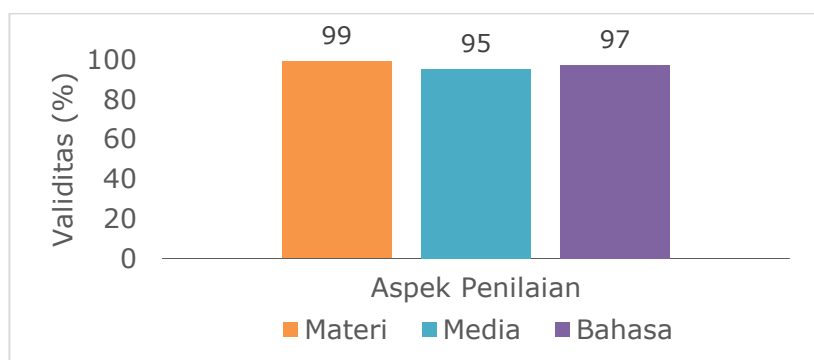
Tahap *analyze* merupakan tahapan pertama yang dilakukan untuk mengetahui perlunya dikembangkan sebuah media pembelajaran yang kemudian diuji kelayakannya. Hasil studi pendahuluan dengan mewawancarai guru kimia menunjukkan bahwa sebagian besar siswa sulit menentukan jenis ikatan yang terbentuk apabila ada dua atau lebih atom berikatan, sulit dalam menjelaskan proses pembentukan ikatan kovalen, kovalen koordinasi, dan logam. Sebagian besar siswa dapat menjelaskan proses pembentukan ikatan ion, namun masih ada siswa yang sulit memahami konsep ikatan ion. Hal ini dilihat dari tingkat ketuntasan nilai ulangan harian (UH) siswa pada materi ikatan kimia masih dibawah 50%. Selain itu, sumber belajar yang digunakan belum dapat memvisualisasikan ketiga level representasi kimia secara utuh dan video yang digunakan untuk menjelaskan level submikroskopis masih berupa animasi dua dimensi. Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dikembangkan sumber belajar yang memuat ketiga level representasi dan dapat memvisualisasikan proses pembentukan ikatan kimia dalam bentuk animasi 3D.

Pada tahap *design*, peneliti menentukan tujuan pembelajaran sesuai dengan KD 3.5 yaitu, membandingkan ikatan ion, ikatan kovalen, ikatan kovalen koordinasi, dan ikatan logam serta kaitannya dengan sifat zat. Selain itu, peneliti juga membuat kuesioner uji validitas dan uji respon, mengumpulkan referensi untuk penyusunan materi di dalam modul, menyiapkan peralatan dan *software* yang diperlukan, serta merancang desain modul berbantuan teknologi AR. Adapun peralatan dan *software* yang diperlukan dalam mengembangkan modul berbantuan teknologi AR yaitu: *smartphone* android, laptop, *webcam*, aplikasi *Adobe Photoshop CS6*, *Adobe Illustrator*, *Unity Game Engine 2018*, *3D Studio Max 2018*, *Android Studio 3.6*, *Chemdraw Professional 15.0*, dan *Microsoft Powerpoint 2016*.

Tahap *develop*, instrumen penelitian divalidasi oleh 2 validator. Validasi instrumen penelitian bertujuan untuk memastikan instrumen penelitian yang dibuat sudah valid dan layak digunakan untuk penelitian serta sesuai dengan aspek yang ingin diukur (Ernawati & Sukardiyono, 2017). Data hasil validasi instrumen dianalisis menggunakan rumus Gregory karena melibatkan 2 validator. Hasil perhitungan menunjukkan kelima instrumen penelitian (kuesioner validasi materi, kuesioner validasi media, kuesioner validasi bahasa, kuesioner uji respon guru dan siswa) memperoleh nilai koefisien validitas isi instrumen sebesar 1. Menurut Retnawati (2016), jika koefisien validitas isi instrumen lebih dari 0,8

maka termasuk kategori tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa masing-masing instrumen penelitian memiliki validitas yang tinggi dan layak digunakan dalam penelitian.

Setelah dilakukan validasi instrumen penelitian, maka prototipe yang telah dikembangkan akan divalidasi oleh ahli. Tujuan dari proses validasi, yaitu untuk mengetahui tingkat validitas prototipe. Pada penelitian ini, dilakukan validasi materi, media dan bahasa. Masing-masing hasil validasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Persentase rata-rata hasil validasi materi, media dan bahasa

Berdasarkan Gambar 1, dihitung rata-rata hasil persentase dari validitas materi, media, bahasa dan diperoleh hasil sebesar 97%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modul berbantuan teknologi AR termasuk kategori sangat valid dan layak untuk diujicobakan.

Selanjutnya, dibahas hasil penilaian dari masing-masing validasi secara lebih mendalam. Validasi materi melibatkan 2 orang Dosen Kimia FMIPA Universitas Tanjungpura dan 1 orang guru kimia MAN 2 Pontianak. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir

Aspek	Butir	Butir Penilaian	Rata-rata Penilaian Validator (%)
Desain Pembelajaran	1	Materi yang disajikan sesuai dengan KI dan KD mata pelajaran kimia.	100
	2	Materi yang terdapat dalam modul sesuai dengan indikator pencapaian kompetensi.	100
Materi	3	Materi yang disajikan dalam modul berbantuan teknologi AR sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100
	4	Gambar yang dapat di scan (gambar marker) senyawa ion, senyawa kovalen, senyawa kovalen koordinasi dan logam di dalam modul sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100

	5	Gambar contoh senyawa (secara makroskopis) yang ada dalam modul sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100
	6	Visualisasi 3D proses pembentukan senyawa pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100
	7	Contoh-contoh senyawa yang disajikan sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100
	8	Gambar "Info" senyawa pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia sesuai dengan konsep ikatan kimia.	100
	9	Materi yang disajikan dalam modul berbantuan teknologi AR lengkap.	92
	10	Materi di dalam modul berbantuan teknologi AR disajikan secara runtut.	100
	11	Materi yang disajikan dalam modul berbantuan teknologi AR mudah dipahami.	100
	12	Soal latihan sesuai dengan indikator pencapaian kompetensi.	100
	13	Kesesuaian dan kebenaran kunci jawaban dengan soal.	100
	14	Sistematika penyusunan modul sudah lengkap dan sistematis.	92
	15	Glosarium disajikan secara runtut dan lengkap.	100
	16	Materi dilengkapi dengan contoh, ilustrasi, dan animasi proses pembentukan ikatan.	100
	17	Materi yang disajikan sudah mencakup ketiga level representasi kimia (makroskopis, simbolik, submikroskopis).	100
Penyajian	18	Petunjuk penggunaan modul berbantuan teknologi AR jelas dan mudah dipahami.	100

Berdasarkan Tabel 4, dihitung rata-rata validitas materi dari ketiga aspek penilaian dan didapatkan hasil sebesar 99%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa validitas

materi pada modul berbantuan teknologi AR dikategorikan sangat valid. Aspek desain pembelajaran mendapatkan persentase sebesar 100%. Hal ini menunjukkan bahwa materi yang disajikan sesuai dengan KI, KD, dan indikator pencapaian kompetensi. Bahan ajar yang sesuai dengan KI, KD, dan indikator akan membantu siswa memahami materi yang diajarkan guru (Aisyah, dkk., 2020). Suatu bahan ajar akan memberikan pemahaman yang utuh apabila dapat menyajikan uraian materi yang sesuai dengan apa yang ingin dicapai (Lau, dkk., 2019). Aspek materi memperoleh persentase sebesar 99% dengan kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa gambar, materi, contoh senyawa, dan visualisasi 3D yang ditampilkan pada modul berbantuan teknologi AR sudah sesuai dengan konsep ikatan kimia. Apabila materi yang disajikan benar, maka dapat mencegah timbulnya kesalahan konsep (Mappiara, dkk., 2020). Hal ini juga didukung oleh Dewi, dkk. (2021) yang mengatakan bahwa siswa akan mengalami kesalahan konsep apabila memperoleh informasi yang salah atau menyimpang. Pada butir 10 dan 11, validator menyatakan 100% sangat setuju bahwa materi di dalam modul sudah disajikan secara runtut dan mudah dipahami. Dengan demikian, harapannya bahan ajar yang disusun secara runtut dapat memudahkan siswa memahami materi, sehingga tujuan pembelajaran akan lebih mudah dicapai (Kusuma & Rakhman, 2018). Selain itu, pada butir 12 dan 13 menunjukkan bahwa validator menyatakan 100% sangat setuju bahwa soal latihan yang disajikan dalam modul sesuai dengan indikator pencapaian kompetensi dan kunci jawaban. Soal latihan yang ada didalam modul dapat membantu siswa memahami materi (Wulansari, dkk., 2018). Butir 9 mendapatkan penilaian yang kurang maksimal, yaitu sebesar 92%. Validator memberikan saran perbaikan agar materi di dalam modul lebih lengkap. Saran perbaikan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. Aspek penyajian materi memperoleh persentase rata-rata sebesar 98% yang termasuk kategori sangat valid. Data tersebut menunjukkan bahwa penyajian materi dalam modul sudah mencakup ketiga level representasi kimia dan dilengkapi dengan contoh, ilustrasi, animasi, glosarium, serta petunjuk penggunaan yang jelas dan mudah dipahami. Materi yang dilengkapi dengan animasi, ilustrasi dan gambar akan mempermudah siswa memahami materi dan tidak salah dalam menafsirkannya (Septian, dkk., 2017). Butir 14 mendapatkan penilaian yang kurang maksimal, yaitu sebesar 92%. Validator memberikan komentar bahwa terdapat beberapa kesalahan dalam penulisan kata, sehingga peneliti melakukan beberapa perbaikan penulisan. Tampilan sebelum dan sesudah perbaikan prototipe dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perbaikan prototipe berdasarkan komentar dan saran ahli materi

Sebelum Revisi

Pada Tabel 1, sebaiknya kulit K, L, M, N, dan seterusnya ditambahkan kulit ke-n agar terlihat hubungannya dengan bilangan kuantum.

Tabel 1. Konfigurasi elektron gas mulia

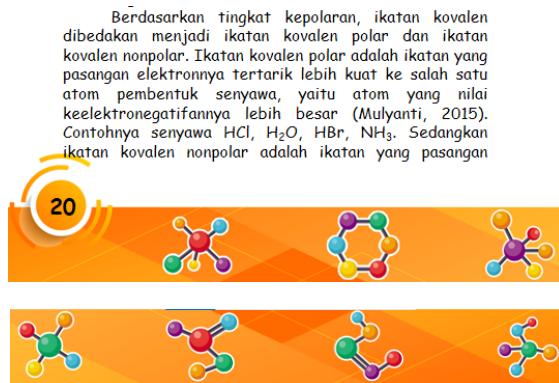
No	Unsur	Nomor Atom	Kulit					
			K	L	M	N	O	P
1	He	2	2					
2	Ne	10	2	8				
3	Ar	18	2	8	8			
4	Kr	36	2	8	18	8		
5	Xe	54	2	8	18	18	8	
6	Rn	86	2	8	18	32	18	8

Sesudah Revisi

Tabel 1. Konfigurasi elektron gas mulia

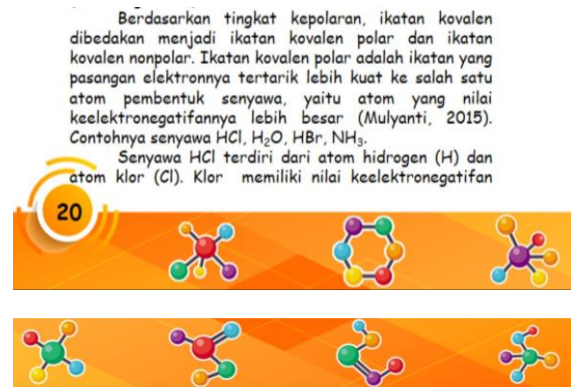
No	Unsur	Nomor Atom	Kulit (n)					
			K (n=1)	L (n=2)	M (n=3)	N (n=4)	O (n=5)	P (n=6)
1	He	2	2					
2	Ne	10	2	8				
3	Ar	18	2	8	8			
4	Kr	36	2	8	18	8		
5	Xe	54	2	8	18	18	8	
6	Rn	86	2	8	18	32	18	8

Agar terlihat penjelasan kepolaran senyawa, tambahkan gambar molekul yang berikatan kovalen polar dan tunjukkan sisi yang bermuatan parsial positif dan parsial negatif.



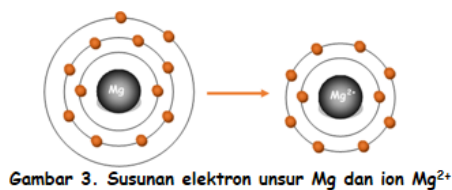
elektronnya digunakan secara bersama secara merata atau seimbang (Mulyanti, 2015). Hal ini disebabkan karena unsur-unsurnya memiliki nilai keelektronegatifan yang sama sehingga kemampuan untuk menarik elektron juga sama. Contohnya senyawa O₂, Cl₂, F₂, N₂. Berikut adalah rentang selisih keelektronegatifan dengan jenis ikatan yang terbentuk dan nilai keelektronegatifan unsur-unsur golongan utama.

Peneliti menambahkan gambar muatan parsial pada senyawa HCl beserta penjelasannya.

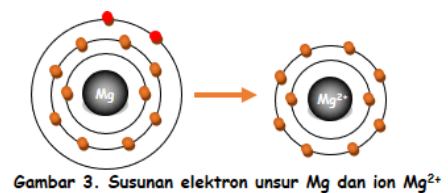


Gambar 19. Muatan parsial pada senyawa HCl

Pada gambar susunan elektron atom dan ion, elektron valensi diberi warna yang berbeda.



Setelah direvisi, elektron valensi diganti menjadi warna merah.



Sebaiknya posisi titik pada struktur Lewis HNO₃ disesuaikan dengan struktur bangun yang ditampilkan.



Selanjutnya, validasi media melibatkan 1 orang dosen pendidikan kimia FKIP Universitas Tanjungpura, 1 orang dosen teknik informatika Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, dan 1 orang dosen sistem informasi UNU Kalimantan Barat. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir penilaian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir penilaian

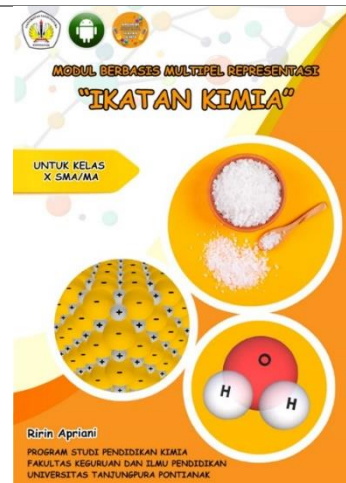
Aspek	Butir	Butir Penilaian	Rata-rata Penilaian Validator (%)
Desain Media	1	Ukuran modul yang digunakan sesuai dengan standar (A5).	100
	2	<i>Layout</i> dan sistematika sampul (<i>cover</i>) sudah tepat.	83
	3	Tata letak (<i>Lay Out</i>) setiap bagian dalam modul proporsional.	92
	4	Tata letak komponen pada aplikasi ARCHEMS (<i>Augmented Reality Chemistry Simulator</i>) Ikatan Kimia proporsional.	83
	5	Tampilan modul menarik.	100
	6	Tampilan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia menarik.	92
	7	Penyajian gambar pada bagian cover tepat dan menarik.	92
	8	Pemilihan dan tata letak gambar di dalam modul berbantuan teknologi AR tepat.	92
	9	Petunjuk penggunaan modul berbantuan teknologi AR jelas dan mudah dipahami.	100
Software	10	Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mudah dioperasikan pada <i>smartphone</i> android.	92
	11	Tombol-tombol pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dapat berfungsi dengan baik.	92
	12	Visualisasi 3D proses pembentukan senyawa ion (NaCl, MgS, KF, CaF ₂ , Na ₂ O) disajikan dengan baik.	100
	13	Visualisasi 3D proses pembentukan senyawa kovalen (H ₂ O, HCl, O ₂ , CO ₂ , N ₂ , BeCl ₂ , PCl ₅ , NO ₂ , HNO ₃ , NH ₄ ⁺) disajikan dengan baik.	100
	14	Visualisasi 3D proses pembentukan senyawa logam (Al) disajikan dengan baik.	100

Berdasarkan Tabel 6, dihitung persentase rata-rata validitas dari kedua aspek penilaian dan didapatkan hasil sebesar 95%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modul berbantuan teknologi AR memiliki validitas media yang sangat valid dan layak

digunakan. Aspek desain media memperoleh persentase sebesar 93% yang termasuk kategori sangat valid. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ukuran dan tampilan modul berbantuan teknologi AR sudah sesuai dan menarik. Tampilan bahan ajar yang menarik akan mendorong minat baca siswa, khususnya siswa yang memiliki gaya belajar visual (Mumpuni & Nurbaeti, 2019). Namun, berdasarkan hasil penilaian validator, terdapat beberapa bagian yang harus direvisi, seperti tata letak unsur sampul dan bagian dalam modul serta pemilihan gambar, sehingga peneliti melakukan perbaikan yang dapat dilihat pada Tabel 7. Validator menyatakan 100% sangat setuju bahwa petunjuk penggunaan modul berbantuan teknologi AR jelas dan mudah dipahami sehingga pengguna dapat mengoperasikannya dengan mudah (Joni, dkk., 2020). Salah satu validator memberikan saran tambahan agar petunjuk penggunaan lebih mudah dipahami, yaitu dengan mencantumkan jarak optimal dan jarak maksimal pemindaian marker serta menambahkan sudut arah kamera yang optimal saat pemindaian marker seperti yang terlihat pada Tabel 7. Hasil penelitian Putra, dkk. (2020) menunjukkan bahwa jarak pendeteksian marker berpengaruh terhadap waktu munculnya objek, dan jarak ideal untuk mendeteksi marker adalah 20 cm. Selanjutnya, pada aspek *software* mendapatkan persentase sebesar 97% dengan kategori sangat valid. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mudah dan lancar saat digunakan, serta dapat menampilkan visualisasi 3D proses pembentukan ikatan kimia dengan baik. Kelancaran aplikasi dilihat dari tidak adanya *error* dan tombol-tombol dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, visualisasi 3D yang ditampilkan dapat mengkonkritkan konsep yang abstrak, sehingga mempermudah siswa dalam memahaminya (Hasby, 2018). Berikut adalah tampilan prototipe sebelum dan sesudah perbaikan.

Tabel 7. Hasil perbaikan prototipe berdasarkan komentar dan saran ahli media

Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
1. Gambar pada bagian cover memiliki warna yang kurang menarik karena hanya warna kuning saja, ganti gambar dengan warna yang lebih variatif.	Ukuran logo sudah dikecilkan, dan 2 gambar di sampul diganti menggunakan gambar hasil desain pribadi peneliti, dan mencantumkan sumber gambar garam secara makroskopik di dalam modul.
2. Semua gambar yang ada di sampul harus dicantumkan sumbernya di dalam modul jika gambar tersebut berasal dari internet.	
3. Logo terlalu besar, sebaiknya lebih dikecilkan.	



1. Lakukan pengujian terlebih dahulu untuk jarak pemindaian marker. Cantumkan jarak optimal dan jarak maksimal pemindaian marker.
2. Tambahkan sudut arah kamera yang optimal saat pemindaian marker.

*Catatan:

- ☐ gambar/marker yang dapat di scan ditandai dengan petunjuk:



Arahkan AR kamera pada gambar di bawah ini!

- ☐ Scan marker pada jarak 5-10 cm dan pastikan kamera dalam keadaan fokus

Peneliti mencantumkan jarak optimal (8-10 cm) serta jarak maksimal (25 cm) dan sudut arah kamera saat pemindaian marker (60° dan 90°) di petunjuk penggunaan.

*Catatan:

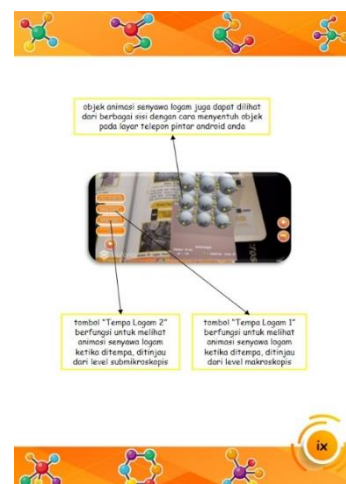
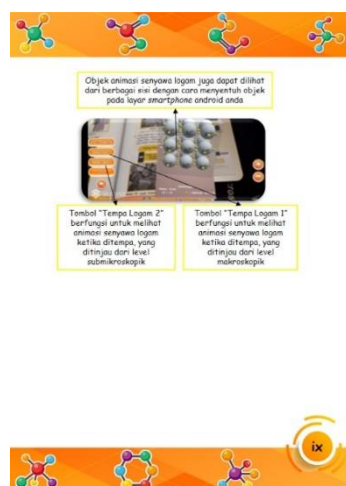
- ☐ Gambar yang dapat dipindai ditandai dengan petunjuk:



Arahkan AR kamera pada gambar di bawah ini!

- ☐ Pindai gambar pada jarak 8-10 cm (optimal) dan maksimal 25 cm.
- ☐ Pastikan kamera dalam keadaan fokus.
- ☐ Arahkan kamera ke gambar yang dapat dipindai pada sudut 60° dan 90° (optimal).

Perbaiki tata letak tulisan pada bagian petunjuk (halaman ix), bisa diturunkan sedikit sehingga terlihat lebih bagus.



Sebaiknya tanda petik dua dihilangkan dan tulisan pada bagian sampul belakang lebih dkecilkan.



Selanjutnya, validasi bahasa melibatkan 2 orang dosen Bahasa Indonesia, FKIP Universitas Tanjungpura, dan 1 orang pegawai Balai Bahasa Provinsi Kalimantan Barat. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir penilaian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil rata-rata penilaian validator dari setiap butir penilaian

Aspek	Butir	Butir Penilaian	Rata-rata Penilaian Validator (%)
Lugas	1	Pemilihan kata pada modul tepat.	100
	2	Pemilihan kata pada aplikasi ARCHEMS (<i>Augmented Reality Chemistry Simulator</i>) Ikatan Kimia tepat.	92
	3	Kalimat yang digunakan pada modul sudah efektif.	100
	4	Kalimat yang digunakan pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia sudah efektif.	92
	5	Istilah-istilah yang digunakan pada modul sudah baku.	100
	6	Istilah-istilah yang digunakan pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia sudah baku.	100
Komunikatif	7	Kalimat yang digunakan pada modul mudah dipahami.	100
	8	Kalimat yang digunakan pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mudah dipahami.	100
Kesesuaian bahasa	9	Bahasa yang digunakan pada modul sesuai dengan jenjang pendidikan (siswa SMA).	92

dengan jenjang pendidikan siswa	10	Bahasa yang digunakan pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia sesuai dengan jenjang pendidikan (siswa SMA).	100
Kesesuaian dengan kaidah Bahasa Indonesia	11	Tata kalimat yang digunakan untuk menyampaikan pesan pada modul mengacu kepada kaidah tata Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	92
	12	Tata kalimat yang digunakan untuk menyampaikan pesan pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mengacu pada kaidah tata Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	92
Penggunaan Istilah, Simbol, dan Ikon	13	Penggunaan istilah, simbol, dan ikon pada modul konsisten.	100
	14	Penggunaan istilah, simbol, dan ikon pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia konsisten.	100

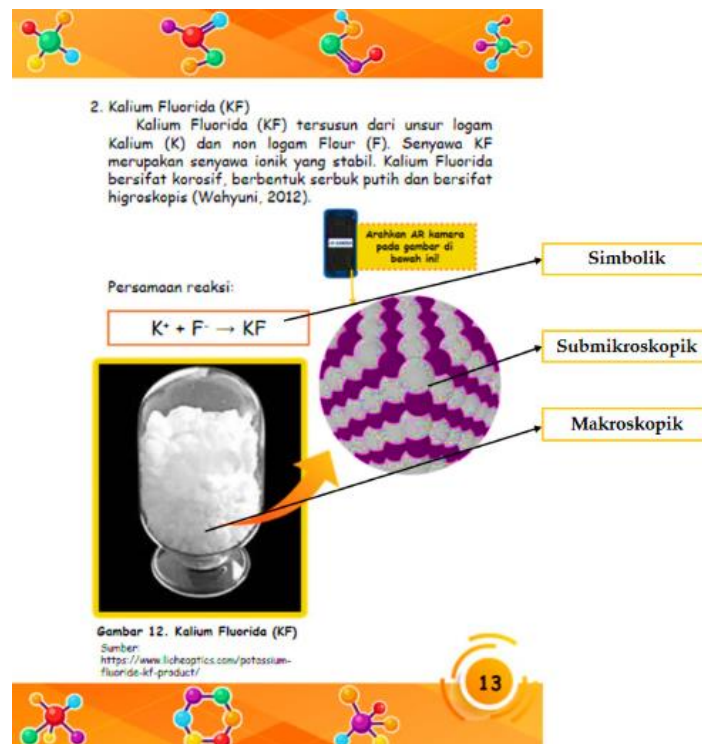
Berdasarkan Tabel 8, dihitung rata-rata persentase validitas bahasa dari kelima aspek penilaian dan didapatkan hasil sebesar 97% dengan kategori sangat valid. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa bahasa yang digunakan dalam modul sudah memenuhi aspek lugas, komunikatif, sesuai kaidah bahasa Indonesia, jenjang pendidikan siswa, dan konsisten dalam penggunaan istilah, simbol, dan ikon. Penggunaan bahasa yang tepat akan mencegah timbulnya penafsiran ganda sehingga mempermudah pembaca dalam mempelajari dan memahami suatu informasi (Panjaitan dkk., 2021). Pada proses validasi bahasa, tidak ada perubahan yang signifikan. Peneliti hanya memperbaiki kesalahan penulisan kata, penggunaan tanda baca yang kurang tepat, memperbaiki kata yang tidak baku, dan kesalahan dalam penggunaan kata penghubung berdasarkan masukan validator. Contohnya terdapat beberapa kata yang tidak baku, yaitu kata "ditujukan" diganti dengan "bertujuan" dan kata "*link*" diganti dengan "tautan". Kesalahan penggunaan kata penghubung, yaitu penggunaan kata "akan tetapi" tidak boleh menjadi penghubung antar paragraf, tetapi dapat menjadi penghubung antar kalimat.

Setelah dilakukan uji validitas dan revisi berdasarkan saran validator, maka dihasilkan produk berupa modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dan aplikasi *Augmented Reality Chemistry Simulator* (ARCHEMS) Ikatan Kimia yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dan aplikasi ARCHEMS ikatan kimia

Modul yang dikembangkan terdiri dari 3 bagian, yaitu; 1) bagian pendahuluan memuat kata pengantar, daftar isi, pendahuluan, petunjuk penggunaan, kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi; 2) bagian isi terdiri dari uraian materi ikatan kimia, yaitu materi kestabilan unsur, struktur Lewis, ikatan ion, ikatan kovalen, penyimpangan aturan oktet, ikatan kovalen koordinasi, dan ikatan logam; 3) bagian penutup terdiri dari simpulan, soal latihan beserta kunci jawaban, glosarium, dan daftar pustaka. Modul yang dikembangkan mencakup ketiga level representasi kimia, yaitu level makroskopis, simbolik, dan submikroskopis seperti yang disajikan pada Gambar 3.

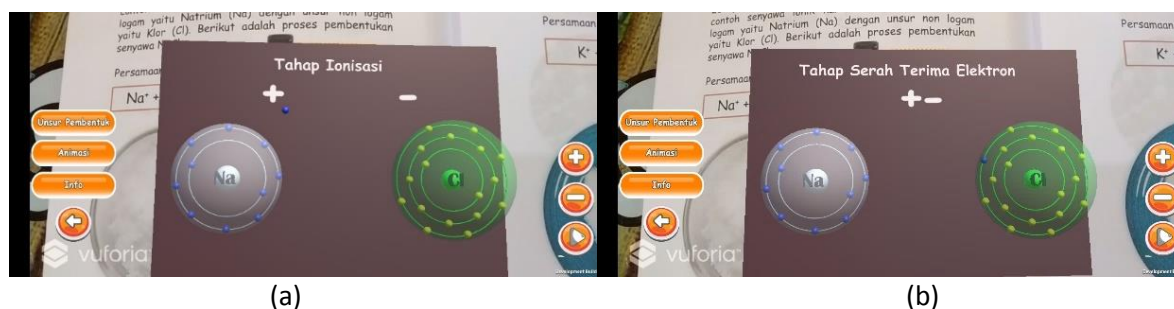


Gambar 3. Tampilan tiga level representasi kimia dalam modul

Level submikroskopis tidak hanya ditampilkan secara 2D seperti Gambar 3 di atas. Namun, dapat diproyeksikan dalam bentuk animasi 3D melalui aplikasi ARCHEMS Ikatan Apriani, dkk. : Pengembangan Modul Berbasis Multipel.....| 319

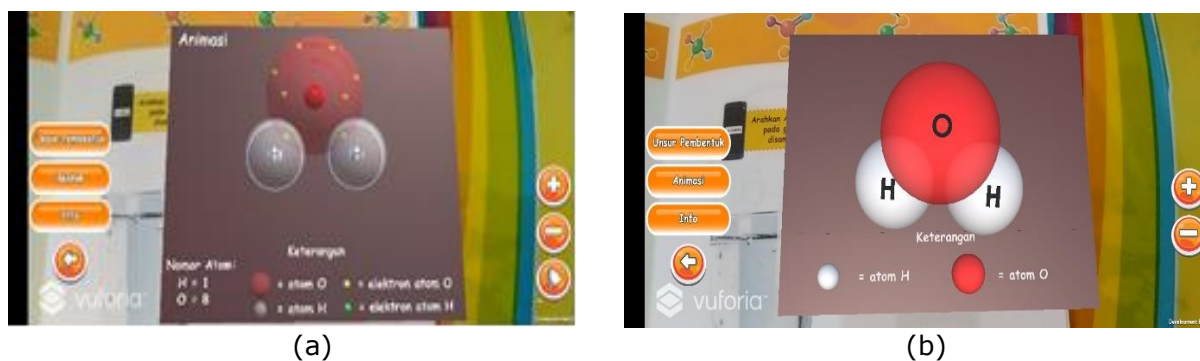
Kimia. Penggabungan buku ajar dan teknologi AR dapat mengurangi kelemahan dari buku teks, contohnya buku ajar tidak dapat menampilkan animasi, dan membuat siswa merasa bosan apabila tidak disusun atau dirancang dengan baik (Isty, dkk., 2021). Melalui penggabungan modul dan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia diharapkan dapat membantu siswa memahami konsep ikatan kimia secara utuh. Penggunaan teknologi AR dalam bahan ajar dapat membantu memvisualisasikan konsep abstrak ikatan kimia. Hal ini didukung oleh Hendriyani, dkk. (2019) yang berpendapat bahwa teknologi AR dapat dimanfaatkan untuk mempelajari konsep abstrak yang sulit dipahami dalam buku teks karena teknologi AR dapat memproyeksikan model 3D yang sulit divisualisasikan oleh siswa. Menurut Amir (2017), penggunaan buku ajar berbantuan teknologi AR dapat membantu memvisualisasikan sifat abstrak materi, sehingga proses pembelajaran akan semakin aktif dan interaktif dengan harapan hasil belajar juga semakin meningkat. Melalui teknologi AR, proses pembentukan ikatan kimia dapat dianimasikan dalam bentuk 3D. Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia yang telah dikembangkan dapat memproyeksikan animasi proses pembentukan ikatan ion, ikatan kovalen, dan ikatan logam.

Pada ikatan ion, visualisasi dari proses pembentukan ikatan ditampilkan dalam dua tahap. Tahap pertama, yaitu tahap ionisasi. Pada tahap ini atom logam akan melepaskan elektron valensi dan akan membentuk ion positif, sedangkan atom nonlogam membentuk ion negatif seperti yang disajikan pada Gambar 4. Tahap kedua, yaitu terjadi proses serah terima elektron. Pada tahap ini, akan terjadi tarik menarik antara ion positif dan ion negatif yang menyebabkan terbentuknya ikatan ion, seperti yang disajikan pada Gambar 4.



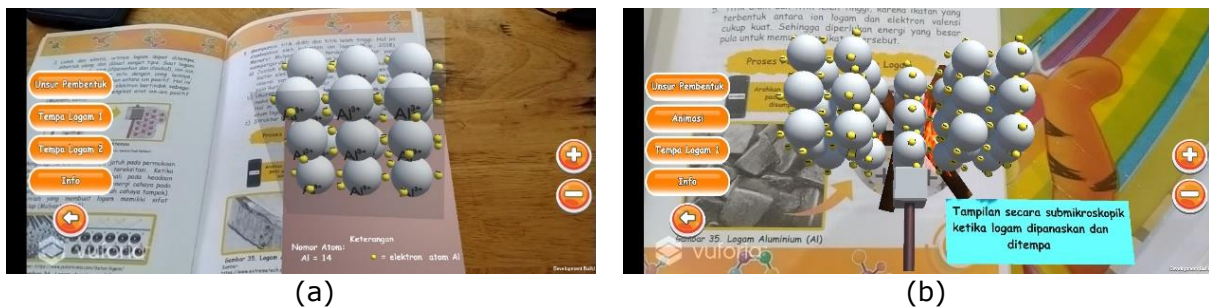
Gambar 4. (a) Visualisasi 3D tahap ionisasi; (b) visualisasi 3D tahap serah terima elektron

Pada ikatan kovalen, disajikan visualisasi penggunaan pasangan elektron secara bersama-sama yang menyebabkan terjadinya tumpang tindih orbital antara atom yang berikatan. Selain itu, disajikan pula visualisasi bentuk molekul dengan mode tampilan *space filling* dari senyawa kovalen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Visualisasi 3D proses pembentukan ikatan kovalen pada senyawa H_2O ; (b) visualisasi bentuk molekul H_2O

Pada ikatan logam, disajikan visualisasi lautan elektron. Lautan elektron terbentuk karena adanya elektron valensi atom logam yang bermuatan negatif dan dapat bergerak bebas di sekitar ion logam. Adanya tarik menarik antara ion logam yang bermuatan positif dengan lautan elektron menyebabkan terbentuknya ikatan di antara atom logam (Mulyanti, 2015) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Adanya lautan elektron menyebabkan timbulnya sifat logam. Salah satu sifat logam, yaitu dapat ditempa. Saat logam dipanaskan dan ditempa, ion-ion logam yang bermuatan positif akan bergeser satu dengan yang lainnya, tetapi tidak terjadi tolakan antara ion positif tersebut. Hal ini disebabkan karena lautan elektron bertindak sebagai perekat fleksibel yang mengikat erat ion-ion positif (Mulyanti, 2015). Visualisasi dari sifat logam tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) Visualisasi 3D lautan elektron pada ikatan logam; (b) tampilan secara submikroskopis ketika logam dipanaskan dan ditempa

Pada tahap *implement*, produk yang sudah divalidasi dan direvisi akan diujicobakan kepada 5 orang guru kimia dan 25 siswa MAN 2 Pontianak. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tanggapan siswa dan guru mengenai produk sesuai dengan aspek yang ingin diukur. Uji respon dilakukan kepada siswa yang sudah mempelajari materi ikatan kimia. Guru dan siswa diberikan kesempatan untuk menggunakan modul dan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia. Setelah itu, peneliti membagikan angket respon guru dan siswa melalui link *google form* yang telah disiapkan.

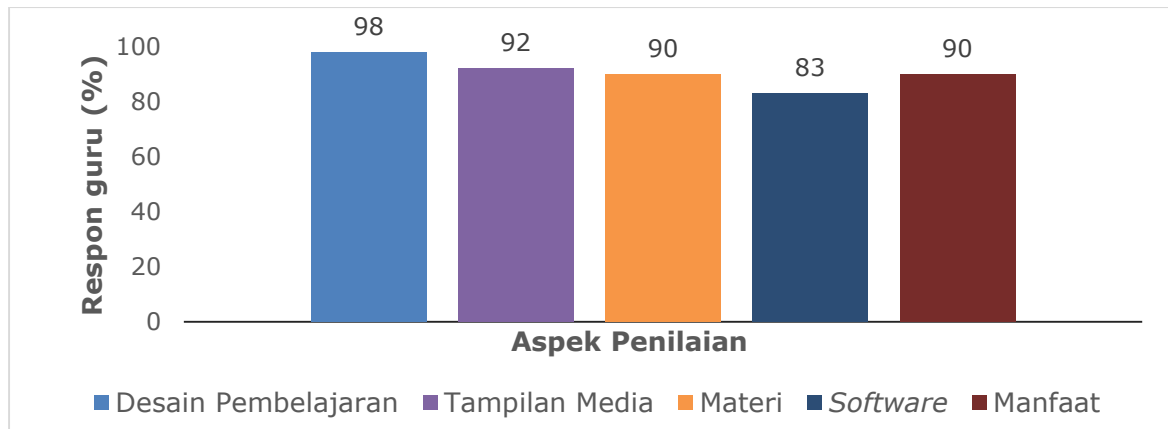
Pada tahap *evaluate*, akan diukur tanggapan siswa dan guru terhadap modul dan aplikasi ARCHEMS. Hasil rata-rata respon guru dari setiap butir penilaian disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil rata-rata respon guru dari setiap butir penilaian

Aspek	Butir	Butir Penilaian	Rata-rata Respon Guru (%)
Desain pembelajaran	1	Materi yang disajikan sesuai dengan Kompetensi Dasar yang akan dicapai.	100
	2	Materi yang disajikan sesuai dengan tujuan pembelajaran.	95
Tampilan media	3	Tampilan modul menarik.	90
	4	Tampilan aplikasi ARCHEMS (<i>Augmented Reality Chemistry Simulator</i>) Ikatan Kimia menarik.	95

	5	Visualisasi 3D yang ditampilkan saat <i>scan</i> marker terlihat dengan jelas.	90
	6	Tombol-tombol di dalam aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia terlihat dengan jelas.	95
	7	Petunjuk penggunaan modul berbantuan teknologi <i>Augmented Reality</i> (AR) dapat mempermudah penggunaan aplikasi.	90
	8	Petunjuk untuk mengarahkan AR kamera pada modul ditampilkan dengan jelas dan memudahkan pengguna dalam menggunakan modul berbantuan teknologi AR.	90
Materi	9	Materi di dalam modul berbantuan teknologi AR mudah dipahami.	85
	10	Gambar "Info" pada aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dapat mempermudah pemahaman materi.	90
	11	Visualisasi 3D yang ditampilkan dapat mempermudah pemahaman materi.	90
	12	Visualisasi yang disajikan dalam modul berbantuan teknologi AR sesuai dengan konsep ikatan kimia.	95
	13	Materi di dalam modul berbantuan teknologi AR disajikan secara sistematis.	90
	14	Soal latihan sesuai dengan konsep ikatan kimia.	90
Software	15	Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dapat digunakan dengan lancar.	75
	16	Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mudah digunakan.	90
Manfaat	17	Modul berbantuan teknologi AR membantu saya dalam memotivasi siswa untuk belajar.	90
	18	Modul berbantuan teknologi AR dapat mempermudah saya dalam menyampaikan materi ikatan kimia.	90

Hasil analisis data kuantitatif dari setiap aspek penilaian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Persentase hasil uji respon guru

Berdasarkan Gambar 7, dihitung rata-rata persentase dari kelima aspek penilaian, dan didapatkan nilai sebesar 90% dengan kategori sangat baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modul dan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia memperoleh respon yang positif dari guru. Aspek manfaat mendapatkan respon yang sangat baik dengan persentase sebesar 90%, sehingga modul berbantuan teknologi AR dapat digunakan dalam proses pembelajaran dan membantu guru menyampaikan konsep ikatan kimia kepada siswa. Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa teknologi AR dapat membantu guru menyampaikan materi pembelajaran (Yuliono, dkk., 2018), memberikan visualisasi yang lebih konkrit (Jamhari, dkk., 2018) dan mencapai tujuan pembelajaran (Puspitasari, dkk., 2020). Apabila guru menggabungkan modul dan teknologi AR dalam proses pembelajaran, maka siswa dapat lebih mudah memahami materi. (Kusdiyanti, dkk., 2020).

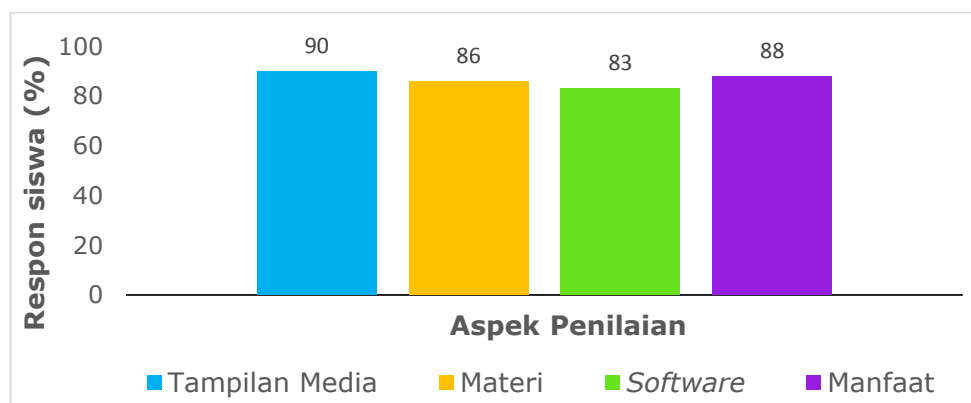
Disisi lain, aspek *software* menjadi perhatian yang menarik karena mendapatkan persentase sebesar 83% dengan kategori cukup baik. Butir 15 menunjukkan bahwa terdapat kendala dalam pengoperasian aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia. Kendala tersebut disebabkan oleh resolusi dan sensitivitas kamera dari *smartphone* yang digunakan guru berbeda-beda. Apabila resolusi kamera rendah, maka akan berpengaruh terhadap waktu pendeteksian & kualitas objek yang ditampilkan, sehingga disarankan untuk menggunakan kamera yang memiliki resolusi minimal 8MP (Priambada, 2015). Selanjutnya, hasil uji respon siswa pada setiap butir penilaian disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil rata-rata respon siswa dari setiap butir penilaian

Aspek	Butir	Butir Penilaian	Rata-rata Respon Guru (%)
Tampilan media	1	Tampilan modul menarik.	91
	2	Tampilan aplikasi ARCHEMS (<i>Augmented Reality Chemistry Simulator</i>) Ikatan Kimia menarik.	89
	3	Tombol-tombol di dalam aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia terlihat dengan jelas.	92

	4	Visualisasi 3D yang ditampilkan saat memindai gambar marker terlihat dengan jelas.	90
	5	Petunjuk penggunaan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mempermudah saya menggunakan aplikasi.	89
	6	Petunjuk untuk mengarahkan AR kamera pada modul jelas sehingga memudahkan saya untuk melihat visualisasi 3D yang ditampilkan oleh aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia.	89
Materi	7	Materi di dalam modul mudah dipahami.	86
Software	8	Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dapat digunakan dengan lancar.	81
	9	Aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia mudah digunakan.	84
	10	Materi yang disajikan di dalam modul berbantuan teknologi AR dapat membantu saya memahami konsep ikatan kimia.	90
Manfaat	11	Modul berbantuan teknologi AR membantu saya dalam memvisualisasikan proses pembentukan ikatan kimia.	88
	12	Modul berbantuan teknologi AR membuat saya tertarik untuk mempelajari konsep ikatan kimia.	85

Hasil analisis data kuantitatif dari setiap aspek penilaian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Persentase hasil uji respon siswa

Berdasarkan Gambar 8, dihitung rata-rata keseluruhan dari keempat aspek penilaian dan didapatkan hasil sebesar 87% dengan kategori sangat baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modul dan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia juga memperoleh respon yang positif dari siswa. Hasil penilaian siswa menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan memiliki tampilan menarik, tombol dan visualisasi 3D terlihat dengan jelas, petunjuk penggunaan yang disajikan dapat mempermudah siswa menggunakan modul berbantuan teknologi AR serta materi yang disajikan mudah dipahami siswa. Pada aspek manfaat juga menunjukkan bahwa siswa memberikan respon yang

sangat baik dengan persentase sebesar 88%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul berbantuan teknologi AR dapat membantu siswa memvisualisasikan dan memahami konsep abstrak ikatan kimia serta membuat siswa tertarik untuk mempelajarinya. Hasil penelitian Liono dkk (2021) melaporkan bahwa teknologi AR dapat menampilkan objek 3D sebagai visualisasi dari konsep yang abstrak. Selain itu, teknologi AR juga dapat meningkatkan motivasi belajar (Khan, dkk, 2019; Saadon, dkk., 2020), pemahaman konseptual (Ismail, dkk., 2019) dan prestasi akademik siswa (Çetin & Türkan, 2021; Gün & Atasoy, 2017).

Di sisi lain, aspek *software* mendapatkan nilai yang paling rendah, yaitu sebesar 83% dengan kategori cukup baik. Hal tersebut dapat dilihat pada butir 8 dari segi kelancaran penggunaan aplikasi. Kendala yang dihadapi sama seperti pada saat uji respon guru, yaitu pengaruh sensitivitas dan resolusi kamera pada *smartphone* yang digunakan siswa, sehingga tidak semua siswa dapat melihat visualisasi 3D yang diproyeksikan oleh aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dengan lancar.

Terdapat beberapa kelemahan dari penelitian yang dilakukan. Kelemahan tersebut, yaitu aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia memiliki ukuran yang besar (95 MB) sehingga memerlukan kapasitas penyimpanan yang besar. Pencahayaan ruangan juga berpengaruh terhadap kelancaran penggunaan aplikasi. Objek 3D akan muncul dengan baik apabila terdapat pencahayaan pada marker (Stanaya, dkk., 2019). Berdasarkan hasil penelitian Apriyani, dkk. (2016) objek dapat muncul pada intensitas cahaya 97 lux -1605 lux. Selain itu, aplikasi yang dikembangkan hanya dapat digunakan pada *smartphone* android. Aplikasi juga belum dilengkapi dengan audio pendukung. Guru menyarankan untuk menambahkan audio pendukung agar lebih menarik minat siswa untuk belajar. Guru juga menyarankan agar aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia tidak hanya digunakan pada *smartphone* android, tetapi juga bisa digunakan pada iOS. Kelemahan penelitian ini akan digunakan sebagai data evaluasi untuk penelitian selanjutnya.

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan produk berupa modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dan aplikasi *Augmented Reality Chemistry Simulator* (ARCHEMS) Ikatan Kimia. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dengan bantuan teknologi AR tergolong sangat valid ditinjau dari validitas media, bahasa, dan materi, sehingga dapat digunakan dalam proses pembelajaran. Guru memberikan respon yang sangat baik terhadap modul ikatan kimia berbasis multipel representasi dengan bantuan teknologi AR. Dengan demikian, produk yang dikembangkan dapat membantu guru menyampaikan materi ikatan kimia. Selain itu, produk juga memperoleh respon yang sangat baik dari siswa, sehingga modul dan aplikasi ARCHEMS Ikatan Kimia dapat membantu siswa memvisualisasikan dan memahami konsep abstrak ikatan kimia.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada *Comdev & Outreaching* serta Ditjen Belmawa Kemenristekdikti yang telah memberikan Beasiswa Bidikmisi dan bantuan dana riset untuk penelitian ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada semua validator, responden dan semua pihak yang telah membantu dan ikut terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Agustina, A. 2017. Pembelajaran konsep ikatan kimia dengan animasi terintegrasi lcd projector layar sentuh (low cost multi touch white board). *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 1(1):8–13. <https://doi.org/10.15575/jta.v1i1.1163>
- Aisyah, S., Noviyanti, E., & Triyanto. 2020. Bahan ajar sebagai bagian dalam kajian problematika pembelajaran bahasa Indonesia. *Jurnal Salaka*, 2(1):62–65.
- Akbar, S. 2013. *Instrumen Perangkat Pembelajaran*, Rosda, Bandung.
- Amir, I. 2017. Pengembangan buku ajar dan augmented reality (AR) pada konsep sistem pencernaan, *Tesis*, Universitas Negeri Makassar, Indonesia.
- Apriyani, M.E., Huda, M., & Prasetyaningsih, S. 2016. Analisis penggunaan marker tracking pada augmented reality huruf hijaiyah. *Jurnal Infotel - Informatika Telekomunikasi Elektronika*, 8(1):71–77. <https://doi.org/10.20895/infotel.v8i1.54>.
- Auliza, O., Kurniawan, R.A., & Kurniati, T. 2019. Pengaruh penggunaan modul terhadap kemampuan multipel representasi siswa pada materi kelarutan dan hasil kali kelarutan (Ksp) kelas XI IPA SMA Adisucipto Sungai Raya. *AR-RAZI Jurnal Ilmiah*, 7(1):39–40. <https://doi.org/10.29406/ar-r.v7i1.1384>.
- Branch, R.M. 2009. *Instructional Design: The ADDIE Approach*. In *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science*, Springer US, New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>.
- Çetin, H. & Türkan, A. 2021. The effect of augmented reality based applications on achievement and attitude towards science course in distance education process. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10625-w>.
- Dewi, N.P., Martini, & Purnomo, A.R. 2021. Analisis Miskonsepsi Peserta Didik Pada Materi Sistem Pernapasan Manusia. *Pensa E-Jurnal: Pendidikan Sains*, 9(3):422–428.
- Enero, U.J. & Umesh, R. 2018. Representations of chemical phenomena in secondary school chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1):1–34. <https://doi.org/10.1039/c8rp00191j>.
- Ernawati, I. & Sukardiyono, T. 2017. Uji kelayakan media pembelajaran interaktif pada mata pelajaran administrasi server. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 2(2):204–210. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v2i2.17315>.
- Fahmi & Irhasyuarna, Y. 2017. The misconceptions of senior high school students in banjarmasin on chemical bonding. *Journal of Education and Practice*, 8(17):32–39.
- Ferreira, J.E.V. & Lawrie, G.A. 2019. Profiling the combinations of multiple representations used in large-class teaching: pathways to inclusive practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4):902–923. <https://doi.org/10.1039/c9rp00001a>.
- Fitriani, E., Suhartono, S., & Mugiarti, I. 2019. Make it real: simulation of 3D molecules using augmented reality in chemical bonding topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(5):1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055058>.

- Gregory, R.J. 2014. *Psychological testing: History, principles, and applications*, 7nd edition, Pearson Education, Boston.
- Gün, E.T. & Atasoy, B. 2017. The effects of augmented reality on elementary school students' spatial ability and academic achievement. *Education and Science*, 42(191):31–51. <https://doi.org/10.15390/EB.2017.7140>
- Hasby. 2018. Pengaruh software visualisasi terhadap hasil dan minat belajar siswa pada materi bentuk molekul di SMA Negeri 4 Langsa. *Katalis : Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 1(1):17–21.
- Hendriyani, Y., Effendi, H., Novaliendry, D., & Effendi, H. 2019. Augmented reality sebagai media pembelajaran inovatif di era revolusi industri 4.0. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 12(2):62–67.
- Hidayat, J., Firman, H., Sunarya, Y., & Redjeki, S. 2019. The profile of high school student 's mental model on chemical bonding concept. *1st International Seminar STEMEIF (Science, Technology, Engineering and Mathematics Learning International Forum)*, 2019 April, p.432–442.
- Ismail, A., Festiana, I., Hartini, T.I., Yusal, Y., & Malik, A. 2019. Enhancing students' conceptual understanding of electricity using learning media-based augmented reality. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3):1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032049>
- Isty, M.F., Nor, M., & Sahal, M. 2021. The development of mobile augmented reality-based science learning media on earth layer materials and disasters in class VII Junior High School. *Jurnal Geliga Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(1):60–69. <https://doi.org/10.31258/jgs.9.1.60-69>
- Jamhari, I., Susilaningsih, & Ulfa, S. 2018. Pengembangan buku suplemen 3d augmented reality sebagai bahan belajar tematik tema lingkungan tentang perkembangbiakan hewan untuk siswa kelas III SD. *Jinotep (Jurnal Inovasi dan Teknologi Pembelajaran) Kajian dan Riset dalam Teknologi Pembelajaran*, 4(2):76–81. <https://doi.org/10.17977/um031v4i22018p076>
- Joni, Syamswisna, & Marlina, R. 2020. Kelayakan multimedia interaktif berbasis lectora inspire pada materi keanekaragaman hayati kelas X SMA. *EduNaturalia*, 1(1):14–25.
- Khan, T., Johnston, K., & Ophoff, J. 2019. The impact of an augmented reality application on learning motivation of students. *Advances in Human-Computer Interaction*, p.1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/7208494>
- Kusdiyanti, H., Nurrudin, Z.M., & Prasetyo, W.A. 2020. Blended learning for augmented reality to increase student competitiveness the filling subject toward making Indonesia 4.0. " in *3rd International Research Conference on Economics and Business, KnE Social Sciences*, 2020 April, p.88–100. <https://doi.org/10.18502/kss.v4i7.6845>
- Kusuma, A.C. & Rakhman, A. 2018. Peningkatan keterampilan pembuatan buku ajar matematika SD pada mahasiswa Prodi PGSD Universitas Peradaban. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Progresif Humanis Brainstorming*, 1(2):75–79. <https://doi.org/10.30591/japhb.v1i2.950>

- Lau, X.C., Wong, Y.L., Wong, J.E., Koh, D., Sedek, R., Jamil, 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>
- 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*, 179:144–152. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.12.019>
- Mappiara, Z.A., Arif, M., & Munirah. 2020. Analisis bahan ajar dalam buku teks siswa Madrasah Tsanawiyah Kelas VII. *Jurnal Pendaia*, 2(1):1–13.
- Mekwong, S. & Chamrat, S. 2019. The development learning activities using three levels of chemical representation for enhance upper secondary students' organic chemistry concepts. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019 September, p.1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012027>
- Mindayula, E. & Sutrisno, H. 2020. Multiple representation: The teacher's perception in chemistry learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1):1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012194>
- Mulyanti, S. 2015. Kimia Dasar Jilid 1, Alfabeta, Bandung.
- Mumpuni, A., & Nurbaeti, R. U. 2019. Analisa faktor yang mempengaruhi minat baca mahasiswa PGSD. *Dwija Cendekia: Jurnal Riset Pedagogik*, 3(2):123–132. <https://doi.org/10.20961/jdc.v3i2.35229>
- Mustaqim, I. 2016. Pemanfaatan augmented reality sebagai media pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 13(2):728–732. <https://doi.org/10.23887/jptk-undiksha.v13i2.8525>.
- Mustaqim, I. & Kurniawan, N. 2017. Pengembangan media pembelajaran berbasis augmented reality. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(1):36–48.
- Nasir, M., Prastowo, R.B., & Riwayani, R. 2018. Design and development of physics learning media of three dimensional animation using blender applications on atomic core material. *Journal of Educational Sciences*, 2(2):23–32. <https://doi.org/10.31258/jes.2.2.p.23-32>.
- 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.
- Nurdiyanti, Mustami, K., & Ali, A. 2017. Pengembangan buku ajar dan augmented reality pada konsep sistem ekskresi di Sekolah Menengah Atas. *UNM Journal of Biological Education*, 1(1):23–31.
- 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>.
- Pikoli, M. 2020. Using guided inquiry learning with multiple representations to reduce misconceptions of chemistry teacher candidates on acid-base concept. *International Journal of Active Learning*, 5(1):1–10.
- 328 | JIPI 5(4):305-330, 2021

- Priambada, B.A. 2015. Implementasi Smart Terrain Pada Aplikasi Augmented Reality Untuk Membentuk Lingkungan 3D, *Tesis*, Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia.
- 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>
- Puspitasari, D., Praherdhiono, H., & Adi, E.P. 2020. Pengembangan suplemen augmented reality animation pada buku ajar biologi untuk penguatan kognitif siswa. *JKTP: Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, 3(1):29–39. <https://doi.org/10.17977/um038v3i-12019p029>
- Putra, D.W.T., Windyana, P., Syahrani, A., & Mandarani, P. 2020. Pengaruh jarak deteksi marker terhadap waktu delay pada augmented reality. *Jurnal Edik Informatika*, 7(1):17–22.
- Retnawati, H. 2016. *Analisis Kuantitatif Instrumen Penelitian*, Parama Publisng, Yogyakarta.
- Saadon, N.F.S.M., Ahmad, I., & Hanapi, A.N.C. 2020. The implementation of augmented reality in increasing student motivation: systematic literature review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019 November, p.1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/854/1/012043>
- Safitri, A.F., Widarti, H.R., & Sukarianingsih, D. 2018. Identifikasi pemahaman konsep ikatan kimia. *J-PEK (Jurnal Pembelajaran Kimia)*, 3(1):41–50. <https://doi.org/10.17977/um026v3i12018p041>
- 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):1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Sari, I., Wijayanti, I.E., & Nidaurrohman, N. 2018. Kualitas bonbon bond sebagai media pembelajaran pada topik ikatan kimia [the quality of bonbon bond as a learning media for chemical bonding topics]. *Polyglot: Jurnal Ilmiah*, 14(2):199–208. <https://doi.org/10.19166/pji.v14i2.1064>
- Septian, D., Cari, & Sarwanto. 2017. Pengembangan multimedia interaktif berbasis learning cycle pada materi alat optik menggunakan flash dalam pembelajaran IPA SMP Kelas VIII. *Inkuiri: Jurnal Pendidikan IPA*, 6(1):45–60.
- Sianturi, I.N. & Abdurrahman. 2019. Exploring multiple representation preference to develop students misconception inventory in measuring of students science conception awareness. *Journal of Physics: Conference Series*, p.1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012039>
- Stanaya, I.K.T., Sukajaya, I., & Gunadi, I.G. 2019. Analisis efek pencahayaan pada performa augmented reality book coral sponges menggunakan metode marker-based tracking 1). *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIKI)*, 4(2):1–9.
- Stojanovska, M., Petruševski, V., & 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/csnmb.masa>

2014.35.1.52

Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, Alfabeta, Bandung.

Sukmawati, W. 2019. Analisis level makroskopis , mikroskopis dan simbolik mahasiswa dalam memahami elektrokimia Analysis of macroscopic , microscopic and symbolic levels of students in understanding electrochemistry. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 5(2):195–204.

Weng, C., Otanga, S., Christianto, S.M., & Chu, R.J.C. 2019. Enhancing students' biology learning by using augmented reality as a learning supplement. *Journal of Educational Computing Research*, 58(4):1–24. <https://doi.org/10.1177/0735633119884213>.

Wiyarsi, A., Sutrisno, H., & Rohaeti, E. 2018. The effect of multiple representation approach on students' creative thinking skills: A case of "Rate of Reaction" topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097(1):1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012054>.

Wulansari, E.W., Kantun, S., & Suharso, P. 2018. Pengembangan e-modul pembelajaran ekonomi materi pasar modal untuk siswa kelas XI IPS MAN 1 Jember tahun ajaran 2016/2017. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, Ilmu Ekonomi dan Ilmu Sosial*, 12(1):1–7. <https://doi.org/10.19184/jpe.v12i1.6463>.

Yuliono, T., Sarwanto, S., & Rintayati, P. 2018. Keefektifan media pembelajaran augmented reality terhadap penguasaan konsep sistem pencernaan manusia. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 3(3):65–84.

Yuni, R. & Afriadi, R. 2020. Pengembangan modul pembelajaran kondisional untuk belajar dari rumah (BDR). *Jurnal Handayam*, 11(2):144–152.

Zulfahmi, Z., Wiji, W., & Mulyani, S. 2021. Development of intertextual based learning strategy using visualization model to improve spatial ability on molecular geometry concept. *Chimica Didactica Acta*, 9(1):8–16. <https://doi.org/10.24815/jcd.v9i1.20078>