

PENGEMBANGAN MULTIMEDIA INTERAKTIF BERBASIS *AUGMENTED REALITY* UNTUK MENINGKATKAN PENGUASAAN KONSEP PADA MATERI IKATAN KIMIA

Dita Amalia ^{a*)}, Nurlaili ^{a)}, Yuli Hartati ^{a)}

^{a)} Universitas Mulawarman, Samarinda Indonesia

^{*)}e-mail korespondensi: amaliadita1008@gmail.com

Article history: received 06 Mei 2026; revised 20 Juni 2026; accepted 25 Juli 2026

DOI : <https://doi.org/10.33751/jmp.v14i02.124>

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan multimedia interaktif berbasis Augmented Reality (AR) bernama Chembond AR untuk meningkatkan penguasaan konsep peserta didik pada materi ikatan kimia, khususnya bentuk molekul. Penelitian dilatarbelakangi rendahnya kemampuan peserta didik dalam memvisualisasikan konsep abstrak seperti struktur Lewis, teori VSEPR, dan geometri molekul. Metode penelitian menggunakan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Analisis kebutuhan dilakukan terhadap guru dan peserta didik SMA Negeri 9 Balikpapan sebagai dasar pengembangan produk. Multimedia dikembangkan menggunakan Unity 3D dan Vuforia Engine berbasis Android, dilengkapi visualisasi molekul tiga dimensi, narasi audio, praktik interaktif, serta evaluasi pembelajaran. Produk selanjutnya divalidasi oleh ahli materi, ahli media, dan instrumen penelitian sebelum diimplementasikan kepada peserta didik kelas XI. Penggunaan Chembond AR diharapkan mampu membantu peserta didik memahami konsep ikatan kimia secara lebih konkret, meningkatkan interaktivitas pembelajaran, serta mempermudah visualisasi objek yang bersifat abstrak. Pengembangan multimedia ini memberikan alternatif media pembelajaran inovatif yang sesuai dengan karakteristik Kurikulum Merdeka dan kebutuhan pembelajaran kimia abad ke-21 sehingga berpotensi meningkatkan kualitas proses pembelajaran serta penguasaan konsep peserta didik secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Augmented Reality, Multimedia Interaktif, Ikatan Kimia, Penguasaan Konsep, Chembond AR

DEVELOPMENT OF AUGMENTED REALITY-BASED INTERACTIVE MULTIMEDIA TO IMPROVE CONCEPT MASTERY IN CHEMICAL BONDING MATERIAL

Abstract. This study aimed to develop an Augmented Reality (AR)-based interactive multimedia application called Chembond AR to improve students' conceptual understanding of chemical bonding, particularly molecular geometry. The research was motivated by students' difficulties in visualizing abstract concepts, including Lewis structures, VSEPR theory, and molecular geometry. The study employed a Research and Development (R&D) approach using the ADDIE model consisting of Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation stages. A needs analysis involving chemistry teachers and students of SMA Negeri 9 Balikpapan was conducted to determine product specifications. The multimedia application was developed using Unity 3D and Vuforia Engine for Android devices and incorporated three-dimensional molecular visualization, audio narration, interactive learning activities, and formative assessments. The developed product was validated by subject matter experts, media experts, and assessment instrument validators before being implemented with eleventh-grade students. Chembond AR is expected to facilitate meaningful learning by transforming abstract chemical concepts into concrete visual experiences, increasing student engagement, and supporting independent learning. Furthermore, the developed multimedia provides an innovative instructional medium aligned with the Merdeka Curriculum and twenty-first-century learning demands. Therefore, Chembond AR has strong potential to enhance chemistry learning quality and students' conceptual understanding through interactive, technology-supported, and visually enriched learning experiences. Students benefit from engaging exploration and improved scientific reasoning.

Keywords: Augmented Reality, interactive multimedia, chemical bonds, concept mastery, Chembond AR.

I. PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia merupakan bagian dari pendidikan sains yang bertujuan untuk membantu siswa memahami berbagai fenomena alam melalui penguasaan konsep, prinsip, hukum, dan teori ilmiah. Siswa diharapkan tidak hanya menguasai pengetahuan secara faktual, tetapi juga mampu menjelaskan fenomena yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari dengan mengaitkan aspek makroskopik dan submikroskopiknya (Akbar & Djakariah, 2025).

Penguasaan konsep merupakan salah satu aspek yang penting dalam pembelajaran kimia. Bagi siswa, penguasaan konsep menjadi penting karena dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis, menganalisis berbagai informasi, serta keterampilan sains untuk menyelesaikan permasalahan secara ilmiah (Nadia et al., 2025). Oleh karena itu, penguasaan konsep menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan keberhasilan pembelajaran kimia.

Materi kimia yang menuntut penguasaan konsep yang baik adalah ikatan kimia. Materi ikatan kimia termasuk ke dalam konsep yang abstrak karena melibatkan teori-teori yang cukup kompleks. Siswa sering merasa kesulitan karena konsep-konsep kimia tersebut tidak dapat diamati secara langsung dan cenderung rumit (Musyadi et al., 2025). Salah satu sub materi ikatan kimia yang memerlukan kemampuan visualisasi tinggi adalah bentuk molekul. Materi ini membahas susunan atom dan pasangan elektron di sekitar atom pusat berdasarkan teori *Valence Shell Electron Pair Repulsion* (VSEPR). Dalam mempelajari materi ini, siswa diharapkan mampu memvisualisasikan bentuk molekul dalam ruang tiga dimensi sehingga pemahaman konsep yang baik sangat diperlukan.

Siswa sering mengalami kesulitan dalam memahami materi ini karena siswa belum mampu menghubungkan ketiga tingkatan representasi, yaitu simbolik, submikroskopis dan makroskopis sehingga menjadi penyebab rendahnya pemahaman siswa (Ashari et al., 2023). Abstraknya konsep ini dapat menimbulkan hambatan dalam proses belajar, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya kualitas pemahaman siswa (Simanjuntak & Purba, 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penguasaan konsep siswa pada materi bentuk molekul masih tergolong rendah. Pemahaman siswa terhadap struktur Lewis, teori VSEPR, geometri molekul, dan simetri molekul belum optimal (Habiddin et al., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Erlina *et al.* (2021) menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan atom dan molekul secara tiga dimensi sehingga berdampak pada rendahnya pemahaman geometri molekul. Selain itu, Musa et al. (2023) menemukan masih adanya miskonsepsi pada konsep struktur dan geometri molekul akibat kesulitan menghubungkan representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Konsep ikatan kimia sulit dipahami karena siswa harus memahami representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik secara terintegrasi (Apriani et al., 2021).

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penguasaan konsep siswa pada materi ikatan kimia, khususnya submateri bentuk molekul, masih perlu ditingkatkan. Kesulitan dalam memahami struktur Lewis, teori VSEPR, geometri molekul, serta menghubungkan berbagai representasi kimia menunjukkan bahwa siswa belum memahami konsep bentuk molekul secara utuh.

Hal ini sejalan dengan hasil analisis kebutuhan yang dilakukan di SMA Negeri 9 Balikpapan. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru kimia diperoleh informasi bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR, memahami hubungan antara struktur Lewis dan geometri molekul, serta memvisualisasikan susunan atom dan pasangan elektron dalam ruang tiga dimensi. Hasil angket analisis kebutuhan yang diberikan kepada 90 siswa menunjukkan bahwa 83,56% siswa membutuhkan media pembelajaran yang mampu menampilkan visualisasi tiga dimensi pada materi ikatan kimia. Selain itu, 77,26% siswa menyatakan tertarik menggunakan teknologi *Augmented Reality* dalam pembelajaran kimia. Namun, masih terdapat 68,75% siswa yang mengalami kesulitan dalam menentukan bentuk molekul berdasarkan teori VSEPR. Temuan tersebut menunjukkan bahwa siswa membutuhkan media pembelajaran yang mampu membantu memvisualisasikan konsep-konsep abstrak sehingga lebih mudah dipahami.

Salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya penguasaan konsep siswa adalah keterbatasan media pembelajaran yang digunakan selama proses pembelajaran. Pembelajaran masih didominasi oleh buku teks, gambar dua dimensi, dan presentasi sehingga belum mampu membantu siswa memvisualisasikan bentuk molekul secara konkret. Akibatnya, siswa mengalami kesulitan dalam membangun representasi mental yang sesuai dengan konsep yang dipelajari (Ashari et al., 2023).

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah multimedia interaktif berbasis *Augmented Reality* (AR). Teknologi AR mampu menampilkan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata sehingga siswa dapat mengamati objek dari berbagai sudut pandang. Dalam pembelajaran kimia, AR berpotensi membantu memvisualisasikan konsep-konsep abstrak yang sulit diamati secara langsung (Damanik et al., 2024).

Nugraha et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan AR dapat meningkatkan interaktivitas pembelajaran dan memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik bagi siswa. Selain itu, (Apriani et al., 2021) menunjukkan bahwa visualisasi berbasis AR dapat membantu siswa memahami konsep ikatan kimia yang bersifat abstrak. (Khairani & Prodjosantoso, 2023) juga menyimpulkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran kimia mampu meningkatkan visualisasi konsep, keterlibatan siswa, dan pemahaman materi. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan media dan pengujian kelayakan produk. Penelitian yang secara khusus mengembangkan multimedia interaktif berbasis AR pada submateri bentuk molekul dan difokuskan untuk meningkatkan penguasaan konsep siswa masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu media pembelajaran yang mampu membantu siswa memvisualisasikan konsep bentuk molekul secara lebih konkret dan interaktif sehingga penguasaan konsep dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian yang berjudul *Pengembangan Multimedia Interaktif Berbasis Augmented Reality untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep pada Materi Ikatan Kimia*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang meliputi tahap *Analyze*, *Design*, *Develop*, *Implement*, dan *Evaluate* untuk mengembangkan multimedia interaktif berbasis *Augmented Reality*

(AR) pada materi ikatan kimia. Model ADDIE dipilih karena memiliki tahapan yang sistematis, terstruktur, serta memungkinkan evaluasi pada setiap fase sehingga produk yang dihasilkan memenuhi aspek validitas, kepraktisan, dan keefektifan (Branch, 2009). Tahap analisis dilakukan melalui kajian kurikulum Merdeka Fase F, analisis materi, serta identifikasi kebutuhan guru dan siswa menggunakan angket dan wawancara semi terstruktur. Hasil analisis menjadi dasar dalam menentukan materi, fitur, serta spesifikasi multimedia yang dikembangkan. Tahap perancangan meliputi penyusunan materi, storyboard, flowchart, dan instrumen penelitian berupa lembar validasi ahli, angket kepraktisan, serta tes penguasaan konsep berupa pretest dan posttest. Selanjutnya, pada tahap pengembangan, rancangan diwujudkan menjadi aplikasi Chembond AR menggunakan Unity 3D dan Vuforia berbasis Android yang memuat visualisasi molekul tiga dimensi, latihan interaktif, evaluasi, dan fitur pendukung pembelajaran. Produk kemudian divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk memperoleh masukan dan penyempurnaan sebelum diimplementasikan.

Tahap implementasi dilakukan kepada 30 siswa kelas XI SMA Negeri 9 Balikpapan dengan melibatkan satu guru kimia. Pembelajaran diawali dengan *pretest*, dilanjutkan penggunaan multimedia interaktif berbasis AR, kemudian diakhiri *posttest* serta pengisian angket kepraktisan oleh guru dan siswa. Tahap evaluasi dilakukan secara sumatif berdasarkan hasil validitas, kepraktisan, dan efektivitas produk. Data penelitian terdiri atas data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara, saran, dan masukan validator, serta data kuantitatif yang diperoleh dari angket analisis kebutuhan, validasi ahli, angket kepraktisan, dan tes penguasaan konsep. Analisis validitas dan kepraktisan dilakukan menggunakan persentase skor skala Likert (Wahjusaputri & Purwanto, 2021). Efektivitas multimedia dianalisis melalui perhitungan N-Gain untuk mengetahui peningkatan penguasaan konsep (Sukarelawan et al., 2024), dilanjutkan uji normalitas Shapiro–Wilk karena jumlah sampel kurang dari 50 responden (Sudirman et al., 2023). Pengujian hipotesis menggunakan paired sample t-test apabila data berdistribusi normal atau Wilcoxon Signed Rank Test apabila data tidak normal (Sugiyono, 2013). Melalui tahapan tersebut diharapkan dihasilkan multimedia interaktif berbasis AR yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep ikatan kimia siswa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengembangan Multimedia Interaktif Berbasis AR

Pengembangan multimedia interaktif berbasis AR pada materi ikatan kimia dikembangkan menggunakan model ADDIE (*Analyze, Design, Develop, Implement, dan Evaluate*). Multimedia interaktif ini dikembangkan untuk membantu siswa kelas XI SMA memahami konsep bentuk molekul secara visual dan interaktif melalui teknologi AR yang memungkinkan visualisasi molekul secara tiga dimensi. Hasil pengembangan multimedia interaktif berbasis AR pada setiap tahap dijelaskan sebagai berikut.

1. Tahap *Analyze*

Tahap *analyze* merupakan tahap awal dalam model ADDIE yang bertujuan mengidentifikasi permasalahan pembelajaran dan kebutuhan pengembangan produk. Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara semi terstruktur dan penyebaran angket kepada guru dan siswa. Selain itu, dilakukan analisis kurikulum dan materi untuk menentukan kesesuaian isi multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan dengan capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran pada materi ikatan kimia.

A. Analisis Kebutuhan Siswa

Angket analisis kebutuhan diberikan kepada 90 siswa kelas XI SMA Negeri 9 Balikpapan untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan pengembangan multimedia interaktif berbasis AR pada materi ikatan kimia. Hasil analisis kebutuhan siswa dikelompokkan ke dalam tiga aspek, yaitu kebutuhan media pembelajaran, kesiapan penggunaan media pembelajaran, dan kesulitan belajar pada materi ikatan kimia. Hasil analisis disajikan pada Tabel 1

Tabel 1 Hasil Angket Analisis Kebutuhan Siswa

No	Aspek	Persentase (%)
1	Kebutuhan Media Pembelajaran	83,56
2	Kesiapan Penggunaan Media Pembelajaran	77,26
3	Kesulitan Belajar pada Materi Ikatan Kimia	68,75

Berdasarkan Tabel 1, aspek kebutuhan media pembelajaran diperoleh persentase sebesar 83,56%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media pembelajaran diperlukan untuk membantu siswa memahami materi dan meningkatkan minat belajar siswa dalam mengikuti pembelajaran. Hasil ini menjadi dasar pada tahap *design* untuk merancang multimedia dengan tampilan dan fitur yang menarik serta interaktif.

Aspek kesiapan penggunaan media pembelajaran diperoleh persentase sebesar 77,26%. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian siswa telah terbiasa menggunakan perangkat digital dan siap memanfaatkan media pembelajaran berbasis teknologi dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, multimedia dirancang agar mudah dioperasikan oleh siswa melalui perangkat digital.

Aspek kesulitan belajar pada materi ikatan kimia memperoleh persentase sebesar 68,75%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami beberapa konsep pada materi ikatan kimia. Hal ini menjadi dasar pada tahap *design* untuk merancang visualisasi molekul 3D, praktik interaktif, dan evaluasi yang dapat membantu siswa menguasai konsep yang bersifat abstrak.

Hasil wawancara siswa mendukung hasil angket analisis kebutuhan yang telah diperoleh. Pada aspek kebutuhan media pembelajaran, siswa menyatakan bahwa penggunaan media pembelajaran dapat membantu memahami materi dan membuat proses pembelajaran menjadi lebih menarik. Siswa juga mengharapkan adanya media pembelajaran yang mampu menampilkan visualisasi konsep secara lebih jelas dan interaktif.

Pada aspek kesiapan penggunaan media pembelajaran, sebagian besar siswa menyatakan telah terbiasa menggunakan *smartphone* dan media digital dalam kegiatan belajar. Selain itu, siswa menunjukkan ketertarikan terhadap penggunaan multimedia interaktif berbasis AR dalam pembelajaran kimia. Pada aspek kesulitan belajar pada materi ikatan kimia, siswa mengungkapkan bahwa struktur Lewis, teori VSEPR, bentuk molekul, hibridisasi orbital, dan kepolaran molekul merupakan materi yang sulit dipahami. Kesulitan berkaitan dengan karakteristik konsep yang bersifat abstrak dan memerlukan kemampuan visualisasi tiga dimensi.

Hasil angket dan wawancara menunjukkan bahwa kesulitan siswa tidak hanya berkaitan dengan penguasaan konsep, tetapi juga dengan kemampuan memvisualisasikan susunan atom dan bentuk molekul dalam bentuk tiga dimensi. Materi bentuk molekul memerlukan kemampuan untuk menghubungkan struktur Lewis, jumlah pasangan elektron, dan susunan atom dengan bentuk molekul yang dihasilkan. Ini sejalan dengan Apriani *et al.* (2021) yang menjelaskan bahwa materi ikatan kimia memuat konsep abstrak dan melibatkan representasi pada tingkat makroskopis, submikroskopis, dan simbolik. Penyajian struktur molekul dalam bentuk dua dimensi juga masih dapat menyulitkan siswa dalam membayangkan bentuk molekul yang sebenarnya. Oleh karena itu, penyajian materi perlu didukung dengan visualisasi tiga dimensi agar siswa dapat mengamati susunan atom dan bentuk molekul secara lebih jelas.

Kebutuhan tersebut menjadi salah satu dasar pemilihan teknologi AR dalam pengembangan multimedia. Teknologi AR memungkinkan model molekul tiga dimensi ditampilkan melalui perangkat digital sehingga siswa dapat mengamati objek secara lebih interaktif. Hal ini didukung oleh Whatoni & Sutrisno (2022) yang menjelaskan bahwa materi ikatan kimia membutuhkan visualisasi dan penyajian bentuk molekul untuk membantu siswa memahami konsep. Dengan demikian, pengembangan multimedia interaktif berbasis AR sesuai dengan kebutuhan siswa terhadap media yang mampu menyajikan konsep bentuk molekul secara visual dan interaktif.

Data lengkap angket dan wawancara analisis kebutuhan siswa disajikan pada Lampiran 1 dan Lampiran 2. Hasil analisis kebutuhan siswa dan guru selanjutnya digunakan sebagai dasar pada tahap *design* dalam menentukan materi, bentuk penyajian, dan fitur yang dikembangkan pada multimedia interaktif berbasis AR.

B. Analisis Kebutuhan Guru

Angket analisis kebutuhan guru diberikan kepada dua orang guru kimia SMA Negeri 9 Balikpapan untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan pengembangan multimedia interaktif berbasis AR pada materi ikatan kimia. Hasil analisis kebutuhan guru dikelompokkan ke dalam empat aspek, yaitu kebutuhan media pembelajaran, kesiapan menggunakan media pembelajaran, kesulitan belajar siswa pada materi ikatan kimia, dan kebutuhan terhadap multimedia interaktif berbasis AR. Hasil analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Analisis Angket Kebutuhan Guru

No	Aspek	Persentase (%)
1	Kebutuhan Media Pembelajaran	100
2	Kesiapan Penggunaan Media Pembelajaran	84,38
3	Kesulitan Belajar pada Materi Ikatan Kimia	77,27
4	Kebutuhan terhadap Multimedia Interaktif Berbasis AR	93,75

Berdasarkan Tabel 2, aspek kebutuhan media pembelajaran memperoleh persentase sebesar 100%. Ini menunjukkan bahwa media pembelajaran sebagai komponen penting dalam proses pembelajaran dan guru membutuhkan media yang mampu membantu menjelaskan konsep-konsep ikatan kimia yang bersifat abstrak. Guru juga menyatakan bahwa visualisasi tiga dimensi diperlukan untuk membantu siswa memahami materi ikatan kimia.

Aspek kesiapan menggunakan media pembelajaran memperoleh persentase sebesar 84,38%. Hasil ini menunjukkan bahwa guru memiliki kesiapan dalam memanfaatkan media pembelajaran berbasis teknologi. Selain itu, guru memiliki akses terhadap perangkat digital dan menunjukkan ketertarikan untuk menggunakan teknologi AR dalam pembelajaran kimia.

Aspek kesulitan belajar siswa pada materi ikatan kimia memperoleh persentase sebesar 77,27%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami beberapa konsep ikatan kimia, terutama pada materi bentuk molekul, struktur Lewis, kepolaran molekul, serta hubungan antara gaya antarmolekul dengan sifat fisik zat. Guru juga menyatakan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan konsep-konsep tersebut tanpa bantuan media pembelajaran.

Aspek kebutuhan terhadap multimedia interaktif berbasis AR memperoleh persentase sebesar 93,75%. Hasil ini menunjukkan bahwa guru membutuhkan multimedia interaktif berbasis AR yang mudah digunakan, dilengkapi petunjuk penggunaan yang jelas, menampilkan visualisasi tiga dimensi, serta menyediakan latihan, evaluasi, dan umpan balik bagi siswa.

Hasil wawancara guru menyatakan bahwa media pembelajaran yang digunakan selama ini masih terbatas pada buku paket, presentasi, video pembelajaran, dan media sederhana yang disesuaikan dengan materi pembelajaran. Meskipun media tersebut

telah digunakan dalam pembelajaran, guru masih membutuhkan media yang dapat menyajikan visualisasi konsep ikatan kimia secara lebih interaktif.

Pada aspek kesiapan penggunaan media pembelajaran, guru menyatakan telah terbiasa menggunakan perangkat digital dan berbagai *platform* pembelajaran dalam kegiatan belajar mengajar. Selain itu, sebagian besar siswa telah memiliki *smartphone* yang dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran sehingga mendukung penerapan multimedia interaktif berbasis teknologi di sekolah. Ketersediaan perangkat tersebut menjadi salah satu pertimbangan dalam mengembangkan multimedia berbasis AR yang dapat digunakan melalui perangkat Android.

Pada aspek kesulitan belajar siswa pada materi ikatan kimia, guru mengungkapkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami materi ikatan kimia. Kesulitan tersebut terutama berkaitan dengan materi yang bersifat abstrak dan membutuhkan kemampuan untuk memvisualisasikan susunan atom serta bentuk molekul dalam ruang tiga dimensi.

Aspek kebutuhan terhadap multimedia interaktif berbasis AR, guru mengharapkan media pembelajaran yang mampu menampilkan visualisasi tiga dimensi secara interaktif, mudah digunakan, dilengkapi petunjuk penggunaan yang jelas, serta menyediakan latihan dan evaluasi. Guru juga menyarankan agar multimedia interaktif berbasis AR dikembangkan pada materi ikatan kimia, khususnya submateri bentuk molekul, karena materi tersebut memerlukan kemampuan visualisasi yang tinggi.

Hasil angket dan wawancara menunjukkan adanya kesesuaian antara kebutuhan guru dan kebutuhan siswa. Guru membutuhkan media yang dapat membantu menyajikan konsep ikatan kimia secara visual, sedangkan siswa mengalami kesulitan dalam memahami materi yang membutuhkan kemampuan visualisasi tiga dimensi. Kesiapan guru dalam menggunakan media berbasis teknologi serta ketersediaan perangkat digital juga mendukung pengembangan multimedia interaktif berbasis AR untuk digunakan dalam pembelajaran.

Masukkan guru selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan fitur produk. Multimedia interaktif berbasis AR dikembangkan dengan memuat visualisasi model molekul tiga dimensi, petunjuk penggunaan, materi pembelajaran, latihan interaktif, evaluasi, dan umpan balik. Fitur tersebut disesuaikan dengan kebutuhan guru terhadap media yang mudah digunakan serta dapat membantu siswa mempelajari materi bentuk molekul secara lebih visual dan interaktif. Data hasil angket analisis kebutuhan guru dan rekap hasil wawancara guru disajikan pada Lampiran 3 dan Lampiran 4.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan siswa dan guru, diperlukan media pembelajaran yang mampu membantu memvisualisasikan konsep abstrak pada materi ikatan kimia, khususnya bentuk molekul. Kesiapan guru dan siswa dalam menggunakan perangkat digital serta ketersediaan *smartphone* mendukung pengembangan multimedia interaktif berbasis AR. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam merancang materi, tampilan, dan fitur multimedia interaktif berbasis AR pada tahap *Design*.

2. Tahap Design

Pada tahap ini dilakukan perancangan materi, *flowchart*, *storyboard*, dan instrumen penelitian. Materi yang disajikan difokuskan pada bentuk molekul dan disusun sesuai dengan capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran Kurikulum Merdeka Fase F.

Alur penggunaan multimedia dirancang dalam bentuk *flowchart* yang menggambarkan hubungan antarmenu dan urutan penggunaan fitur dalam aplikasi. Alur dimulai dari *splash screen* Chembond AR menuju menu utama yang terdiri atas menu Mulai Belajar, Petunjuk Penggunaan, Tentang Aplikasi, dan Keluar Aplikasi. Ketika pengguna memilih menu Mulai Belajar, aplikasi menampilkan Menu Pembelajaran yang terdiri atas Tujuan Pembelajaran, Materi Pembelajaran, dan Evaluasi Pembelajaran. Menu Materi Pembelajaran memuat apersepsi dan pertanyaan pemantik, peta konsep, materi inti, praktik interaktif, serta ringkasan materi.

Materi inti terdiri atas domain elektron, teori VSEPR, bentuk molekul dan sudut ikatan, serta pengaruh pasangan elektron bebas terhadap bentuk molekul. Fitur AR terintegrasi dalam materi inti dan digunakan untuk menampilkan model molekul tiga dimensi melalui pemindaian *marker*. Model molekul dilengkapi dengan materi singkat dan narasi audio serta dapat dirotasi, diperbesar, dan diperkecil. Multimedia juga dilengkapi praktik interaktif berupa aktivitas *drag and drop*. Pada aktivitas tersebut, siswa menarik kartu molekul dan menempatkannya pada kotak yang sesuai dengan nama bentuk molekul. Hasil rancangan *flowchart* multimedia interaktif berbasis AR disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart multimedia interaktif berbasis AR

Rancangan tampilan multimedia disusun dalam bentuk *storyboard* yang memuat urutan *scene*, tampilan halaman, dan deskripsi setiap bagian multimedia. *Storyboard* digunakan sebagai acuan dalam mengembangkan tampilan dan fitur produk agar sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. *Storyboard* multimedia interaktif berbasis AR disajikan pada Lampiran 5.

Pada tahap ini juga dilakukan penyusunan instrumen penelitian. Instrumen yang disusun meliputi lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, lembar validasi tes penguasaan konsep, angket kepraktisan guru dan siswa, serta instrumen tes berupa soal *pretest* dan *posttest*. Instrumen tersebut selanjutnya divalidasi sebelum digunakan dalam penelitian.

3. Tahap Develop

Pada tahap ini dilakukan pembuatan multimedia interaktif berbasis AR. Produk yang dikembangkan diberi nama Chembond AR dan dibuat menggunakan perangkat lunak Unity 3D dan Vuforia Engine. Hasil pengembangan berupa aplikasi multimedia interaktif Chembond AR yang dapat digunakan pada perangkat Android.

Chembond AR terdiri dari menu utama, yaitu Mulai Belajar, Petunjuk Penggunaan, Tentang Aplikasi. Menu Mulai Belajar terdiri atas Tujuan Pembelajaran, Materi Pembelajaran, dan Evaluasi Pembelajaran. Materi Pembelajaran memuat apersepsi dan pertanyaan pemantik, peta konsep, materi inti, praktik interaktif, serta ringkasan materi. Tampilan menu Chembond AR disajikan pada Gambar 2



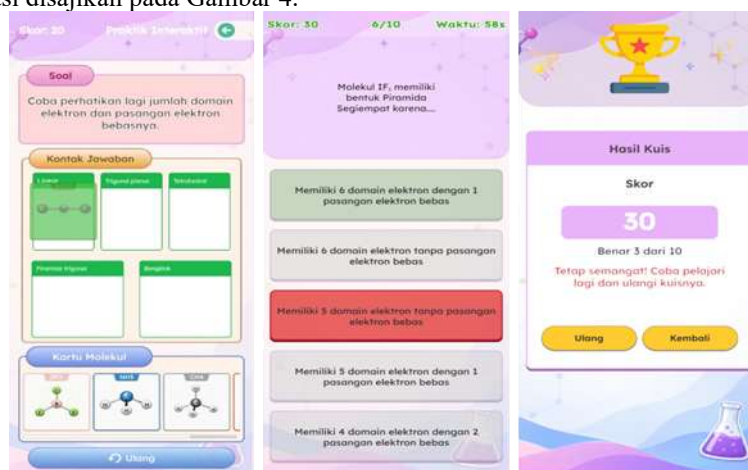
Gambar 2 Tampilan Menu Chembond AR

Materi inti pada Chembond AR terdiri atas domain elektron, teori VSEPR, bentuk molekul dan sudut ikatan, serta pengaruh pasangan elektron bebas terhadap bentuk molekul. Fitur AR terintegrasi pada setiap bagian materi inti dan dapat digunakan melalui pemindaian *marker*. Setelah *marker* terdeteksi, aplikasi menampilkan model molekul tiga dimensi yang dilengkapi materi singkat dan narasi audio. Model molekul dapat dirotasi, diperbesar, dan diperkecil sehingga dapat diamati dari berbagai arah. Tampilan materi dan fitur AR disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Tampilan Materi dan Fitur AR

Selain menyajikan materi dan visualisasi berbasis AR, Chembond AR dilengkapi praktik interaktif berupa aktivitas *drag and drop*. Pada aktivitas tersebut, siswa menarik kartu molekul dan menempatkannya pada kotak yang sesuai dengan nama bentuk molekul. Praktik interaktif digunakan untuk membantu siswa menghubungkan representasi molekul dengan bentuk molekul yang sesuai. Aplikasi juga dilengkapi evaluasi pembelajaran berupa sepuluh soal pilihan ganda. Setelah seluruh soal dikerjakan, aplikasi menampilkan skor yang diperoleh dan memberikan kesempatan kepada siswa untuk mengulang evaluasi. Tampilan praktik interaktif dan evaluasi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan Praktik Interaktif dan Evaluasi

Setelah proses pengembangan selesai, multimedia interaktif berbasis AR divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk memperoleh penilaian dan masukan terhadap produk yang dikembangkan. Instrumen tes penguasaan konsep juga divalidasi sebelum digunakan dalam penelitian.

4. Tahap Implement

Tahap ini dilakukan setelah multimedia interaktif berbasis AR dinyatakan layak berdasarkan hasil validasi ahli materi dan ahli media. Implementasi dilaksanakan pada siswa kelas XI SMA Negeri 9 Balikpapan yang berjumlah 30 siswa.

Pada tahap ini siswa menggunakan multimedia interaktif berbasis AR dalam pembelajaran materi bentuk molekul. Pembelajaran diawali dengan pemberian *pretest* untuk mengetahui penguasaan konsep awal siswa, dilanjutkan dengan penggunaan multimedia interaktif berbasis AR, dan diakhiri dengan pemberian *posttest* serta pengisian angket kepraktisan oleh siswa. Selain itu, guru juga memberikan penilaian terhadap kepraktisan multimedia yang digunakan dalam pembelajaran.

5. Tahap Evaluate

Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil validasi ahli materi, validasi ahli media, validasi instrumen tes penguasaan konsep, uji kepraktisan oleh guru dan siswa, serta uji efektivitas melalui hasil *pretest* dan *posttest*. Berdasarkan hasil evaluasi, multimedia interaktif berbasis AR memperoleh persentase validitas ahli materi sebesar 85% dan validitas ahli media sebesar 93% dengan kategori sangat layak. Hasil uji kepraktisan menunjukkan persentase sebesar 98% berdasarkan respon guru dan 89,60% berdasarkan respon siswa dengan kategori sangat praktis.

Adapun hasil uji efektivitas menunjukkan bahwa penggunaan multimedia interaktif berbasis AR belum memberikan peningkatan penguasaan konsep secara signifikan. Namun demikian, hasil analisis berdasarkan level kognitif menunjukkan adanya peningkatan pada kemampuan mengaplikasikan konsep (C3). Hasil evaluasi tersebut menunjukkan bahwa multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan telah memenuhi aspek validitas dan kepraktisan untuk digunakan dalam pembelajaran materi ikatan kimia.

B. Validitas Multimedia Interaktif Berbasis AR

1. Hasil Validasi Ahli Materi

Validasi dilakukan oleh dosen pendidikan kimia menggunakan instrumen validasi yang telah disusun. Hasil validasi ahli materi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Validasi Ahli Materi

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Kelayakan Isi Materi	86	Sangat Layak
2	Kelayakan Penyajian Materi	84	Sangat Layak
	Rata-rata	85	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 3, multimedia interaktif berbasis AR memperoleh rata-rata persentase sebesar 85% dengan kategori sangat layak. Aspek kelayakan isi materi memperoleh persentase sebesar 86%, sedangkan aspek kelayakan penyajian materi memperoleh persentase sebesar 84%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan termasuk dalam kategori sangat layak untuk digunakan dalam pembelajaran materi ikatan kimia. Data lengkap hasil validasi ahli materi terdapat pada Lampiran 6.

Hasil validasi menunjukkan bahwa materi yang disajikan dalam multimedia telah sesuai dan dapat digunakan dalam pembelajaran. Penilaian ahli juga membantu memastikan bahwa konsep yang disampaikan tidak menimbulkan kekeliruan ketika dipelajari oleh siswa. Meskipun telah memperoleh kategori sangat layak, beberapa bagian tetap diperbaiki sebelum produk digunakan pada tahap implementasi. Saran ahli materi dan tindak lanjut perbaikan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Revisi Produk Berdasarkan Saran Ahli Materi

No	Saran Ahli Materi	Tindak Lanjut
1	Penyajian multimedia tidak hanya dipahami tetapi digunakan untuk membantu siswa memahami konsep secara sistematis.	Penyajian materi pada multimedia telah disusun secara berurutan sesuai alur pembelajaran sehingga membantu siswa memahami konsep secara sistematis.
2	Pada aspek kelayakan nomor 8 ditambahkan indikator mudah dimengerti dan dipahami.	Instrumen validasi direvisi dengan menambahkan indikator mudah dimengerti dan dipahami pada aspek kelayakan penyajian.

2. Hasil Validasi Ahli Media

Validasi dilakukan oleh satu orang ahli media menggunakan instrumen validasi yang telah disusun sebelumnya. Hasil validasi ahli media disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli Media

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Pembelajaran	94	Sangat Layak
2	Media	89	Sangat Layak
3	Desain	100	Sangat Layak
	Rata-rata	93	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 5, multimedia interaktif berbasis AR memperoleh rata-rata persentase sebesar 93% dengan kategori sangat layak. Aspek pembelajaran memperoleh persentase sebesar 94%, menunjukkan bahwa multimedia interaktif berbasis AR dapat mendukung proses pembelajaran, membantu siswa memahami konsep bentuk molekul.

Aspek media memperoleh persentase sebesar 89%, menunjukkan bahwa multimedia mudah digunakan, kompatibel pada perangkat yang digunakan, dan mampu menampilkan visualisasi bentuk molekul melalui teknologi AR.

Aspek desain memperoleh persentase sebesar 100%, menunjukkan bahwa tampilan multimedia memiliki tata letak yang menarik, mudah dipahami oleh pengguna, dan mampu mendukung penyajian materi dalam proses pembelajaran.

Hasil validasi menunjukkan bahwa aspek pembelajaran, media, dan desain pada multimedia telah memenuhi kriteria kelayakan. Penilaian pada aspek desain menunjukkan bahwa tampilan dan susunan komponen dalam multimedia sudah sesuai sehingga tidak memerlukan perbaikan. Kelayakan media juga menunjukkan bahwa fitur yang dikembangkan dapat digunakan sesuai dengan fungsinya dalam menyajikan materi bentuk molekul.

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan ahli media, multimedia interaktif berbasis AR dinyatakan layak digunakan tanpa revisi. Oleh karena itu, multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan dapat digunakan pada tahap implementasi. Data lengkap hasil validasi ahli media terdapat pada Lampiran 7.

3. Validasi Tes Penguasaan Konsep

Validasi tes penguasaan konsep dilakukan oleh ahli materi untuk menilai kelayakan instrumen *pretest* dan *posttest* yang digunakan dalam mengukur penguasaan konsep siswa pada materi ikatan kimia. Hasil validasi soal *pretest* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Validasi Soal *Pretest*

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Materi	92,50	Sangat Valid
2	Konstruksi	85,00	Sangat Valid
3	Bahasa	78,75	Valid
	Rata-rata	85,42	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 6, instrumen *pretest* memperoleh rata-rata persentase sebesar 85,42% dengan kategori sangat valid. Aspek materi memperoleh persentase sebesar 92,50%, aspek konstruksi sebesar 85,00 %, dan aspek bahasa sebesar 78,75%. Hal ini menunjukkan bahwa soal *pretest* telah sesuai dengan indikator penguasaan konsep dan tujuan pembelajaran, memiliki konstruksi soal yang baik, dan menggunakan bahasa yang sesuai dengan karakteristik siswa SMA sehingga layak digunakan untuk mengukur penguasaan konsep siswa sebelum menggunakan multimedia interaktif berbasis AR. Hasil validasi soal *posttest* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Validasi *Posttest*

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Materi	86,25	Sangat Valid
2	Konstruksi	88,75	Sangat Valid
3	Bahasa	85,00	Sangat Valid
	Rata-rata	86,67	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 7, instrumen *posttest* memperoleh rata-rata persentase sebesar 86,67% dengan kategori sangat valid. Aspek materi memperoleh persentase sebesar 86,25%, aspek konstruksi sebesar 88,75%, dan aspek bahasa sebesar 85,00%. Hal ini menunjukkan bahwa soal *posttest* telah sesuai dengan indikator penguasaan konsep dan tujuan pembelajaran, memiliki konstruksi soal yang baik, dan menggunakan bahasa yang jelas dan mudah dipahami sehingga layak digunakan untuk mengukur penguasaan konsep siswa setelah menggunakan multimedia interaktif berbasis AR. Hasil validasi menunjukkan bahwa instrumen *pretest* dan *posttest* memiliki tingkat kelayakan yang relatif sama sehingga keduanya dapat digunakan sebagai instrumen untuk mengukur penguasaan konsep siswa sebelum dan sesudah pembelajaran.

Validator memberikan saran agar instrumen tes memuat soal pada level kognitif C4, C5, dan C6. Saran tersebut menjadi bahan pertimbangan dalam penyempurnaan instrumen. Namun, instrumen tes dalam penelitian ini tetap disusun pada level kognitif C2, C3, dan C4 karena disesuaikan dengan indikator penguasaan konsep yang diukur. Proporsi soal pada level C3 dan C4 dibuat lebih banyak agar penguasaan konsep siswa tidak hanya diukur melalui kemampuan memahami konsep, tetapi juga kemampuan menerapkan dan menganalisis konsep bentuk molekul. Oleh karena itu, level kognitif C5 dan C6 tidak digunakan karena tidak menjadi fokus pengukuran dalam penelitian ini.

Berdasarkan hasil validasi, instrumen *pretest* dan *posttest* dinyatakan layak digunakan untuk mengukur penguasaan konsep siswa pada materi ikatan kimia. Data hasil validasi instrumen tes penguasaan konsep terdapat pada Lampiran 8.

C. Kepraktisan Multimedia Interaktif Berbasis AR

1. Kepraktisan Guru

Kepraktisan multimedia interaktif berbasis AR dinilai melalui angket respon guru setelah menggunakan produk. Hasil kepraktisan guru disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Kepraktisan Guru

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Kemudahan Penggunaan	100	Sangat Praktis
2	Kemenarikan Penyajian	95	Sangat Praktis
3	Manfaat	100	Sangat Praktis
	Rata-rata	98	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 8, multimedia interaktif berbasis AR memperoleh rata-rata persentase sebesar 98% dengan kategori sangat praktis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa multimedia mudah digunakan, menarik, dan bermanfaat dalam membantu pembelajaran materi ikatan kimia. Persentase kepraktisan yang tinggi menunjukkan bahwa multimedia yang dikembangkan dapat digunakan oleh guru tanpa mengalami kendala yang berarti selama proses pembelajaran. Guru menilai bahwa fitur yang tersedia mudah dioperasikan, tampilan multimedia menarik, serta penyajian visualisasi bentuk molekul membantu proses penyampaian materi di kelas. Hasil tersebut menunjukkan bahwa multimedia telah memenuhi aspek kepraktisan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran pada materi ikatan kimia.

Guru juga memberikan komentar bahwa multimedia yang dikembangkan menarik dan membantu memvisualisasikan konsep ikatan kimia. Namun, pada beberapa bagian objek AR masih cukup sulit difokuskan saat proses *scanning*. Selain itu, guru menyarankan penggunaan molekul CO₂ dan H₂O sebagai contoh pada tahap apersepsi. Berdasarkan hasil angket kepraktisan, multimedia interaktif berbasis AR termasuk dalam kategori sangat praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Data hasil angket kepraktisan guru dapat dilihat pada Lampiran 9.

2. Kepraktisan Siswa

Kepraktisan multimedia interaktif berbasis AR juga dinilai berdasarkan respon siswa setelah menggunakan produk Hasil kepraktisan siswa disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Kepraktisan Siswa

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata Persentase Aspek (%)	Kriteria
1	Kemudahan Penggunaan	86,67	Sangat Praktis
2	Kemenarikan Sajian	93,06	Sangat Praktis
3	Manfaat	89,17	Sangat Praktis
	Rata-rata	89,60	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 9, multimedia interaktif berbasis AR memperoleh rata-rata persentase sebesar 89,60% dengan kategori sangat praktis. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh persentase sebesar 86,67%, aspek kemenarikan sajian sebesar 93,06%, dan aspek manfaat sebesar 89,17%. Ini menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan mudah digunakan, memiliki tampilan yang menarik, serta membantu siswa memahami materi ikatan kimia.

Persentase kepraktisan tersebut menunjukkan bahwa siswa dapat menggunakan multimedia dengan baik selama proses pembelajaran. Tampilan multimedia yang menarik, penyajian materi yang sistematis, serta visualisasi objek tiga dimensi melalui teknologi AR memberikan pengalaman belajar yang berbeda sehingga siswa memberikan respon positif terhadap penggunaan multimedia.

Berdasarkan hasil angket kepraktisan, siswa memberikan respon yang positif terhadap penggunaan multimedia interaktif berbasis AR. Dengan demikian, multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan termasuk dalam kategori sangat praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Data hasil kepraktisan siswa disajikan pada Lampiran 10.

D. Efektivitas Multimedia Interaktif Berbasis AR

Efektivitas multimedia interaktif berbasis AR dilihat berdasarkan hasil *pretest* dan *posttest* penguasaan konsep siswa. Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas untuk menentukan jenis uji statistik yang digunakan. Hasil uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 10 Hasil Uji Normalitas

Data	Sig.	Keterangan
Pretest	0,006	Tidak Normal
Posttest	<0,001	Tidak Normal

Berdasarkan Tabel 10, nilai signifikansi *pretest* sebesar 0,006 dan *posttest* sebesar <0,001. Nilai signifikansi kedua data <0,05 sehingga data *pretest* dan *posttest* tidak berdistribusi normal. Hal ini menunjukkan bahwa data tidak memenuhi asumsi normalitas sehingga uji statistik parametrik tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan uji Wilcoxon *Signed Rank Test* sebagai uji nonparametrik untuk membandingkan hasil *pretest* dan *posttest*. Hasil uji Wilcoxon *Signed Rank Test* disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil Uji Wilcoxon Signed Rank Test

Statistik	Nilai
Z	-0,181
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,856

Berdasarkan Tabel 11, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,856. Nilai tersebut >0,05 sehingga H₀ diterima dan H₁ ditolak. Dengan demikian, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest* siswa setelah menggunakan multimedia interaktif berbasis AR. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan multimedia interaktif berbasis AR belum memberikan perubahan yang signifikan terhadap penguasaan konsep siswa berdasarkan hasil uji statistik. Hasil analisis N-Gain disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil Analisis N-Gain

Keterangan	Nilai
Rata-rata Pretest	81,67
Rata-rata Posttest	80,33
Rata-rata N-Gain	-0,61
Kategori	Terjadi Penurunan

Berdasarkan Tabel 12, diperoleh rata-rata nilai *pretest* sebesar 81,67 dan rata-rata nilai *posttest* sebesar 80,33. Hasil perhitungan N-Gain menunjukkan nilai sebesar -0,61 dengan kategori terjadi penurunan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara rata-rata nilai *posttest* lebih rendah dibandingkan nilai *pretest*, sehingga penggunaan multimedia interaktif berbasis AR belum mampu meningkatkan penguasaan konsep siswa. Namun, hasil tersebut belum menunjukkan perubahan penguasaan konsep pada setiap level kognitif. Oleh karena itu, dilakukan analisis lebih lanjut berdasarkan level kognitif untuk mengetahui perubahan penguasaan konsep pada aspek memahami (C2), menerapkan (C3), dan menganalisis (C4). Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 13

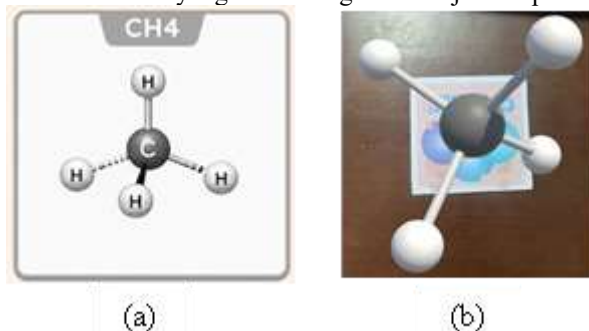
Tabel 63 Hasil Analisis Berdasarkan Level Kognitif

Level Kognitif	Pretest	Posttest
C2	94	89
C3	79	81
C4	79	70

Berdasarkan Tabel 13, peningkatan penguasaan konsep tidak terjadi secara merata pada setiap level kognitif. Pada level C3 terjadi peningkatan rata-rata skor dari 79 menjadi 81. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kemampuan siswa dalam menerapkan konsep bentuk molekul setelah menggunakan multimedia interaktif berbasis AR. Sebaliknya, rata-rata skor pada level C2 mengalami penurunan dari 94 menjadi 89, sedangkan pada level C4 mengalami penurunan dari 79 menjadi 70. Hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas multimedia interaktif berbasis AR berbeda pada setiap level kognitif.

Pada level C2, rata-rata skor mengalami penurunan dari 94 menjadi 89. Tingginya skor *pretest* menunjukkan bahwa sejak awal siswa sudah memiliki pemahaman yang baik pada level C2, sehingga ruang untuk mengalami peningkatan skor menjadi terbatas. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan *ceiling effect*. Staus et al. (2021) menjelaskan bahwa *ceiling effect* dapat terjadi ketika peserta memiliki skor awal yang sangat tinggi, sehingga peningkatan setelah mengikuti suatu kegiatan pembelajaran menjadi sulit terlihat. Meskipun demikian, penurunan skor dari 94 menjadi 89 menunjukkan bahwa penggunaan multimedia belum memberikan peningkatan pada kemampuan memahami konsep (C2).

Pada level C3, rata-rata skor meningkat dari 79 menjadi 81. Peningkatan ini diduga berkaitan dengan kesesuaian antara kemampuan yang diukur pada level C3 dengan fitur multimedia yang dikembangkan. Berdasarkan kisi-kisi soal, siswa diminta menerapkan teori VSEPR untuk menentukan bentuk molekul, menentukan notasi VSEPR, serta mengidentifikasi bentuk molekul berdasarkan model visual. Kemampuan tersebut didukung oleh fitur praktik interaktif dan visualisasi molekul 3D melalui AR. Melalui praktik interaktif, siswa dapat berlatih menerapkan konsep yang telah dipelajari, sedangkan fitur AR membantu siswa melihat bentuk molekul secara tiga dimensi. Sari & Dwiningsih (2025) menjelaskan bahwa materi bentuk molekul yang bersifat abstrak memerlukan dukungan visualisasi untuk membantu kemampuan visual siswa dalam memahami bentuk molekul. Perbedaan visualisasi 2D dan 3D dalam multimedia yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 5 Visualisasi Molekul CH₄ dalam Bentuk (a) 2D dan (b) 3D

Pada Gambar 4.5(a), molekul CH₄ ditampilkan dalam bentuk 2D pada fitur praktik interaktif, sedangkan Gambar 4.5(b) menunjukkan molekul CH₄ dalam bentuk 3D melalui fitur AR. Pada praktik interaktif, siswa menggunakan gambar 2D untuk berlatih menentukan dan mencocokkan bentuk molekul. Sementara itu, melalui fitur AR, siswa dapat mengamati bentuk molekul secara tiga dimensi sehingga susunan atom dalam ruang dapat terlihat lebih jelas. Kenneally & Bentley (2024) menjelaskan bahwa kemampuan memahami bentuk dan susunan molekul dalam ruang berperan dalam pembelajaran geometri molekul. Adanya praktik interaktif dan visualisasi 3D dalam multimedia dapat membantu siswa memahami bentuk molekul dan menerapkan konsep yang telah dipelajari pada level C3.

Pada level C4, rata-rata skor mengalami penurunan dari 79 menjadi 70. Soal pada level C4 menuntut siswa untuk menganalisis hubungan antara pasangan elektron ikatan (PEI), pasangan elektron bebas (PEB), bentuk molekul, dan sudut ikatan. Kemampuan ini lebih kompleks karena siswa tidak hanya menentukan bentuk molekul, tetapi juga harus menghubungkan beberapa konsep untuk memperoleh jawaban yang tepat. Visualisasi 3D melalui AR dapat membantu siswa mengamati bentuk molekul, tetapi kemampuan menganalisis hubungan antarkonsep tetap memerlukan pemahaman yang lebih mendalam. Dengan

demikian, penggunaan AR perlu disertai kegiatan pembelajaran yang lebih mengarahkan siswa untuk menganalisis hubungan antara PEI, PEB, bentuk molekul, dan sudut ikatan.

Selama proses pembelajaran, siswa menunjukkan ketertarikan dalam mencoba berbagai fitur yang tersedia pada multimedia. Siswa terlihat antusias ketika menggunakan fitur praktik interaktif dan evaluasi karena dapat mengerjakan aktivitas secara langsung dan memperoleh umpan balik dari hasil yang dikerjakan. Siswa juga dapat mencoba fitur AR untuk melihat model molekul dalam bentuk 3D. Ketertarikan siswa selama penggunaan multimedia ini sejalan dengan hasil angket kepraktisan pada aspek kemenarikan sajian yang memperoleh persentase sebesar 93,06% dengan kategori sangat praktis.

Di samping kelebihan tersebut, selama penggunaan multimedia masih ditemukan beberapa keterbatasan teknis. Perbedaan spesifikasi dan pengaturan pada perangkat Android menyebabkan beberapa perangkat memerlukan penyesuaian agar aplikasi dapat digunakan dengan baik. Aplikasi juga belum dapat digunakan pada perangkat berbasis iOS. Selain itu, pada kondisi tertentu objek AR cukup sulit difokuskan saat proses *scanning*. Keterbatasan tersebut perlu menjadi perhatian dalam pengembangan multimedia selanjutnya agar aplikasi dapat digunakan pada perangkat yang lebih beragam dan proses *scanning* dapat berjalan lebih optimal.

Berdasarkan hasil uji Wilcoxon, analisis *N-Gain*, dan analisis pada setiap level kognitif, penggunaan multimedia interaktif berbasis AR belum menunjukkan peningkatan penguasaan konsep siswa secara signifikan. Meskipun demikian, peningkatan pada level C3 menunjukkan adanya peningkatan kemampuan siswa dalam menerapkan konsep bentuk molekul. Sementara itu, penurunan pada level C2 dan C4 menunjukkan bahwa penggunaan multimedia belum memberikan hasil yang sama pada setiap level kognitif. Multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan telah memenuhi aspek validitas dan kepraktisan dengan kategori sangat layak dan sangat praktis berdasarkan hasil penilaian ahli, guru, dan siswa. Data hasil *pretest*, *posttest*, uji normalitas, uji Wilcoxon, dan perhitungan *N-Gain*.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan multimedia interaktif berbasis AR pada materi ikatan kimia, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Validitas multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan termasuk dalam kategori sangat layak. Hasil validasi ahli materi memperoleh persentase sebesar 85% dengan kategori sangat layak, sedangkan hasil validasi ahli media memperoleh persentase sebesar 93% dengan kategori sangat layak.
2. Kepraktisan multimedia interaktif berbasis AR yang dikembangkan termasuk dalam kategori sangat praktis. Hasil kepraktisan guru memperoleh persentase sebesar 98% dengan kategori sangat praktis, sedangkan hasil kepraktisan siswa memperoleh persentase sebesar 89,60% dengan kategori sangat praktis.
3. Efektivitas multimedia interaktif berbasis AR menunjukkan bahwa multimedia yang dikembangkan belum efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep siswa secara signifikan. Hasil uji Wilcoxon *Signed Rank Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,856 ($>0,05$), sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest*. Hasil analisis *N-Gain* sebesar -0,61 menunjukkan terjadi penurunan. Meskipun demikian, analisis berdasarkan level kognitif menunjukkan adanya peningkatan pada kemampuan menerapkan konsep (C3) dari rata-rata skor 79 menjadi 81, sedangkan kemampuan memahami (C2) dan menganalisis (C4) mengalami penurunan.

V. REFERENSI

- Akbar, J. S., & Djakariah. (2025). Efektivitas Penggunaan Media Pembelajaran Berbasis Multiple Representasi Dalam Pembelajaran Kimia: Tinjauan Literatur. *Journal of Chemistry Sciences and Education*, 2(02), 69–78. <https://doi.org/10.69606/jcse.v2i02.358>
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2024). EFEKTIFITAS PENGGUNAAN MEDIA PEMBELAJARAN BERBASIS AUGMENTED REALITY DALAM PEMBELAJARAN KIMIA DI ERA SOCIETY 5.0. *UNESA Journal of Chemical Education*, 13(2), 86–99. <https://doi.org/10.26740/ujced.v13n2.p86-99>
- Anderson, L. W., & K. D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- Angely, N. R., Kirana, K. C., Astuti, U., & Marini, A. (2023). Pengaruh Penggunaan Media Pembelajaran Terhadap Dunia Pendidikan (Studi Literatur). In *JPDSH Jurnal Pendidikan Dasar Dan Sosial Humaniora* (Vol. 2, Number 6). <https://bajangjournal.com/index.php/JPDSH>
- Apriani, R., Harun, A. I., Erlina, E., Sahputra, R., & Ulfah, M. (2021). Pengembangan Modul Berbasis Multipel Representasi dengan Bantuan Teknologi Augmented Reality untuk Membantu Siswa Memahami Konsep Ikatan Kimia. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 5(4), 305–330. <https://doi.org/10.24815/jipi.v5i4.23260>
- Ashari, V. R., Fatirul, A. N., & Walujo, D. A. (2023). Pengembangan E-Modul Kimia Materi Asam Basa Berbasis Flip PDF Professional untuk Peserta Didik Kelas XI SMA Negeri 1 Menganti. 4(2), 1391–1398. <http://jurnaledukasia.org>
- Bahauddin, A. F., Sudjimat, D. A., & Romlie, M. (2022). Eksplorasi Penguasaan Konsep Fisika dan Scientific Literacy Siswa dalam Pembelajaran Dasar-Dasar Teknik Mesin Elemen Pokok Pengetahuan Bahan dan Dasar Sistem Mekanik. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 5(2), 113. <https://doi.org/10.17977/um054v5i2p113-123>

- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer.
- Cahyadi, A. (2019). *Pengembangan Media dan Sumber Belajar : Teori dan Prosedur* (M. I. A. Syauqi, Ed.). Laksita Indonesia.
- Damanik, S. A., Silaban, R., & Nurfajriani. (2024). Pengembangan Media Mobile Augmented Reality (AR) untuk Siswa Kelas XII SMA pada Materi Senyawa Turunan Alkana. *Didakta: Jurnal Kependidikan*, 13(2). <https://jurnaldidaktika.org>
- Fahmy Syahputra, Teuku Naufal, Echon Haqiz, Wahyu Ramadhi, Naomi Pranatasyah, Fauzan Fachruzi, & Rivany Virenza. (2024). Penggunaan Teknologi Augmented Reality pada Aplikasi Bangun Ruang Sederhana Berbasis Unity dan Vuforia Engine. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 2(4), 84–95. <https://doi.org/10.61132/neptunus.v2i4.414>
- Fikri, H., & Madona, A. S. (2018). *Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif*. Samudra Biru.
- Firdanu, R., Achmadi, S., & Adi Wibowo, S. (2020). Pemanfaatan Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran mengenai Peralatan Konstruksi dalam Dunia Pendidikan Berbasis Android. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 4(2), 276–282. <https://doi.org/10.36040/jati.v4i2.2657>
- Fitriyani, Y. P., & Yasa, N. P. D. (2025). Perancangan Aplikasi Multimedia Interaktif Berbasis Android untuk Edukasi Habitat Hewan Menggunakan Metode Research & Development. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(2), 2251–2268. <https://doi.org/10.54082/jupin.1475>
- Habiddin, H., Farizka, L., & Shuid, A. N. bin. (2023). Chemistry Studentsâ€™ Understanding of Lewis Structure, VSEPR Theory, Molecular Geometry, and Symmetry: A Cross-Sectional Study. *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.15575/jtk.v8i1.24410>
- Hikmawati, F. (2020). *Metodologi Penelitian (I)*. PT Raja Grafindo Persada.
- Hilman, I., & Dewi, S. Z. (2021). The Analysis of Primary School Teachers Ability in The Application of ICT-Based Learning Media In Tarogong Kidul District. *NATURALISTIC : Jurnal Kajian Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 5(2), 755–763. <https://doi.org/10.35568/naturalistic.v5i2.1012>
- Irma, W., Okra, R., Musril, H. A., & Derta, S. (2024). Perancangan Media Pembelajaran Augmented Reality (AR) Pada Mata Pelajaran Kimia Menggunakan Unity di SMA Negeri 1 Bukittinggi. *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, 14(1), 54–67. <https://doi.org/10.34010/jamika.v14i1.12076>
- Junaidi. (2019). Peran Media Pembelajaran Dalam Proses Belajar Mengajar. *Jurnal Manajemen Pendidikan Dan Pelatihan*, 3.
- Kenneally, C. D., & Bentley, B. (2024). A Cognitive Load Approach to Molecular Geometries: Augmented Reality Technology and Visuospatial Abilities in Chemistry. *Education Sciences*, 14(9), 1036. <https://doi.org/10.3390/educsci14091036>
- Khairani, R. N., & Prodjosantoso, A. K. (2023). Application of Augmented Reality on Chemistry Learning: A Systematic Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 1221–1228. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.4412>
- Mahmud. (2022). *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian Pendidikan Agama Islam* (Cetakan I). Yayasan Pendidikan Uluwiyah.
- Marta, M. A., Purnomo, D., & Gusmami. (2024). Konsep Taksonomi Bloom dalam Desain Pembelajaran. *Lencana: Jurnal Inovasi Ilmu Pendidikan*, 3(1), 227–246. <https://doi.org/10.55606/lencana.v3i1.4572>
- Mesra, R., Salem, V. E. T., Goretti, M., Polii, M., Daniel, Y., Santie, A., Made, N., Wisudariani, R., Sarwandi, R. P., Sari, R., Yulianti, A., Nasar, Y., Yenita, D., Putu, N., & Santiari, L. (2023). *Research & Development Dalam Pendidikan* (Cetakan pertama). PT Mifandi Mitra Digital.
- Miftah, M., & Rokhman, N. (2022). Kriteria pemilihan dan prinsip pemanfaatan media pembelajaran berbasis TIK sesuai kebutuhan peserta didik. *Educenter : Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 1.
- Musa, W. J. A., Mantuli, M. A., Tangio, J. S., Iyabu, H., Kilo, J. La, & Kilo, A. K. (2023). Identifikasi Pemahaman Konsep Tingkat Representasi Makroskopik, Mikroskopik, dan Simbolik pada Materi Ikatan Kimia. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 5(1), 52–59. <https://doi.org/10.34312/jjec.v5i1.15201>
- Musyadi, I. D., Sumarni, S., Paramitha, A. F. P., Rahmadani, I. A., & Erika, F. (2025). Kajian Literatur: Penggunaan Media Augmented Reality Terhadap Pemahaman Konsep Kimia. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 8(1), 9. <https://doi.org/10.31602/dl.v8i1.17251>
- Nadia, Nuraini, I., Hikmatul Rabiah, N., Dwi Saputri, R., & Khoirunnisa, F. (2025). Video pembelajaran kimia: media untuk meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar peserta didik. *Bivalen: Chemical Studies Journal*, 8(1), 2025. <https://doi.org/10.30872/bcsj.v6i1.4909>
- Nasaruddin, Shobri, M., Andrianto, Wardi Miftahussa'adah, Nugroho, B. T. A., & Umar, R. H. (2024). *Pembelajaran Era Digital*. <https://www.researchgate.net/publication/389500870>
- Nugraha, A. H., Masruroh, N., Dewi, R. A., Tirtasari, R. A., & Pratiwi, R. H. (2025). Tinjauan Literatur: Pengaruh Penggunaan Augmented Reality (AR) terhadap Pencapaian Belajar IPA Siswa. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(4), 7660–7668. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.4485>
- Nurillah, H. S., Fatayah, F., & Purwanto, K. K. (2023). Penggunaan Media Augmented Reality Berbasis Android Terhadap Peningkatan Prestasi Belajar Siswa pada Materi Ikatan Kimia. *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(1), 17–22. <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n1.p17-22>
- Okpatrioka. (2023). Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa Dan Budaya*, 1(1), 86–100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>

- Ramdani, A., Jufri, A. W., Jamaluddin, J., & Setiadi, D. (2020). Kemampuan Berpikir Kritis dan Penguasaan Konsep Dasar IPA Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(1), 119–124. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v6i1.388>
- Rifai, A. (2015). *Multimedia Pembelajaran*. Nuriati Press.
- Sari, L. W., & Dwiningasih, K. (2025). Augmented reality as an interactive multimedia in developing student's visual intelligence on molecular geometry material. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 106–118. <https://doi.org/10.24042/ijisme.v8i1.26242>
- Sihaloho, M., Latief, S. A., Pikoli, M., Laliyo, L. A. R., Isa, I., & Thayban, T. (2023). Analisis penguasaan konsep siswa kelas XI IPA dalam menyelesaikan soal kimia pada materi Konsep Mol. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 5(1), 60–66. <https://doi.org/10.34312/jjec.v5i1.16672>
- Simanjuntak, C. Y. B., & Purba, J. (2024). Pengembangan e-Modul Berbasis Discovery Learning Dengan Bantuan Flip PDF Corporate Edition pada Materi Ikatan Kimia. *Jurnal Pendidikan Kimia FKIP Universitas Halu Oleo*, 9(1), 26–39. <https://doi.org/10.36709/jpkim.v9i1.79>
- Slamet, F. A. (2022). *Model Penelitian Pengembangan* (R. Risdiantoro, Ed.). Institut Agama Islam Sunan Kalijogo Malang.
- Staus, N. L., O'Connell, K., & Storksdieck, M. (2021). Addressing the Ceiling Effect when Assessing STEM Out-Of-School Time Experiences. *Frontiers in Education*, 6. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.690431>
- Sudirman, Lembang, S. T., Kondolayuk, M. L., Andinny, Y., Vonnisye, Marlinda, N. L., Katini, K., Nursa'adah, F., Purwanti, P., Suryati, K., Seruni, Anggereni, S., & Safitiri, P. T. (2023). *Statistika Pendidikan*. CV. MEDIA SAINS INDONESIA.
- Sugiyono. (2013a). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R & D* (Cetakan ke-19). Alfabeta.
- Sugiyono. (2013b). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D* (19th ed.). Alfabeta.
- Sukarelawan, M. I., Indratno, T. K., & Ayu, S. M. (2024). *N-Gain vs Stacking: Analisis perubahan abilitas peserta didik dalam desain one group pretestposttest* (I). Suryacahaya.
- Surjono, H. D. (2017). *Multimedia Pembelajaran Interaktif: Konsep dan Pengembangan*.
- Wahab, G., & Rosnawati. (2021). *Teori-Teori Belajar Dan Pembelajaran* (H. A. Zanki, Ed.; cetakan ke 1). CV Adanu Abimata.
- Wahjusaputri, S., & Purwanto, A. (2021). *Statistika Pendidikan Teori dan Aplikasi*. CV. Bintang Semesta Media.
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Whatoni, A. S., & Sutrisno, H. (2022). Development of A Learning Module Supported by Augmented Reality on Chemical Bonding Material to Improve Interest and Motivation of Students Learning for Senior High School. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(4), 2210–2218. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i4.2057>
- Zulfadli, Z., Sunaryo, B., Wiyanatra, R. H., & Sandra, R. P. (2023). The Implementation of Augmented Reality Based on Vuforia and Unity for Interactive Learning in Introducing Ragam Randang Objects. *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 3(2), 125–132. <https://doi.org/10.25077/aijaset.v3i2.84>