

Pengembangan Aplikasi Android 3DChem pada Materi Ikatan Kimia sebagai Media Visualisasi Konsep Abstrak bagi Siswa SMK Berbasis Multiple Representation

Sofia Satriani Krisen ^{a,1,*}, Jakub Saddam akkbar ^{b,2}, Djakariah ^{c,3}, Ayu Febrianti Akbar ^{d,4}

^a Universitas Negeri Manado, Indonesia;

^b Universitas Negeri Manado, Indonesia;

^c Universitas Nusa cendana, Indonesia;

^d Universitas Nusa cendana, Indonesia

¹ sofiakrisen@unima.ac.id; ² jakubakbar@unima.ac.id; ³ djakariah@staf.undana.ac.id;

⁴ ayu.akbar@staf.undana.ac.id;

*Correspondent Author; jakubakbar@unima.ac.id;

ARTICLE INFO

Article history

Received:

23-06-2026

Revised:

13-07-2026

Accepted:

08-08-2026

Keywords

Android Application;
3DChem; Chemical
Bonding; Abstract Concept
Visualization; Multiple
Representation

ABSTRACT

Chemistry learning, particularly on chemical bonding material, is often confronted with abstract and mathematical concepts that lead to low conceptual understanding and learning interest among vocational high school (SMK) students. Conventional one-way teaching methods tend to fail in connecting the macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels of representation, causing fragmented understanding. This study aims to develop and evaluate the feasibility of the 3DChem Android application as a visualization medium for abstract concepts in chemical bonding material based on a Multiple Representation approach. The research employed Research and Development (R&D) methodology with the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) and a qualitative-descriptive approach involving validation sheets and student response questionnaires. The subjects were one media expert, one material expert, and 20 students of SMK Madani Manado. The results showed that the 3DChem application received a feasibility percentage of 96.74% from the media expert (highly feasible), 93.33% from the material expert (highly feasible), and 88.44% positive student responses (highly positive). It is concluded that the 3DChem application is highly feasible as a visualization medium for abstract concepts of chemical bonding for SMK students.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Pendahuluan

Pembelajaran kimia di berbagai tingkat pendidikan secara inheren dihadapkan pada tantangan berupa konsep yang abstrak, matematis, dan menuntut kemampuan visualisasi spasial yang tinggi. Karakteristik ini menjadi penyebab utama rendahnya pemahaman konsep dan minat belajar siswa (Musayaro et al., 2021). Metode pengajaran konvensional yang bersifat satu arah dan terbatas pada representasi dua dimensi, seperti papan tulis dan buku teks, sering kali gagal menghubungkan level perwakilan makroskopik, submikroskopik, dan simbolis. Kegagalan ini menjadi akar dari miskonsepsi yang bertahan lama di kalangan siswa, di mana kesulitan memahami konsep abstrak seperti ikatan kimia—yang melibatkan interaksi dan perpindahan elektron yang tidak terlihat secara kasat mata, baik pada ikatan ion, kovalen, maupun logam—masih menjadi persoalan utama (Magnone & Yezierski, 2024; Karnishyna et al., 2024). Akibatnya, pemahaman siswa, khususnya di jenjang Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), menjadi terfragmentasi dan kurang bermakna (Sansom et al., 2021).

Kondisi di atas menjadi semakin kompleks karena siswa SMK memiliki karakteristik belajar yang cenderung aplikatif dan visual. Mereka lebih cepat menyerap informasi melalui pengalaman langsung dan representasi konkret dibandingkan dengan penjelasan simbolik yang panjang. Sayangnya, materi ikatan kimia yang diajarkan selama ini masih jauh dari konteks aplikatif kejuruan, sehingga siswa mengalami kesulitan mengaitkan konsep kimia dengan bidang keahlian mereka. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi tantangan ini, di antaranya melalui penerapan metode kognitif terintegrasi yang terbukti mampu mengoptimalkan pemahaman konseptual siswa (Firdauz & Sukarmin, 2024). Seiring perkembangan teknologi, solusi digital menjadi semakin relevan dan diadopsi secara luas dalam pembelajaran.

Teknologi mobile berbasis Android, sebagai salah satu inovasi digital yang paling familiar bagi siswa, menawarkan fleksibilitas dan adaptivitas yang tinggi dalam pembelajaran. Sebuah studi melaporkan peningkatan pemahaman mahasiswa secara signifikan hingga 40,63% dengan menggunakan modul ajar berbasis Android (Akmal et al., 2025). Studi lain juga mengonfirmasi pengaruh positif aplikasi Android terhadap hasil belajar kimia pada materi alkana (Sudiarjo & Sumaryana, 2023). Lebih lanjut, penggunaan media interaktif berbasis Android terbukti tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep dan rasa ingin tahu, tetapi juga memiliki korelasi positif dengan motivasi dan hasil belajar siswa (Salame et al., 2022; Abdinejad et al., 2021). Potensi besar teknologi mobile ini menjadi pendorong utama bagi peneliti untuk mengembangkan media pembelajaran berbasis Android yang dirancang khusus untuk mengakomodasi kebutuhan karakteristik belajar siswa SMK.

Di antara berbagai inovasi digital, teknologi visualisasi tiga dimensi (3D) pada perangkat mobile muncul sebagai pendekatan yang sangat menjanjikan untuk mentransformasi pembelajaran kimia. Teknologi ini dipandang sebagai pendorong utama transformasi pendidikan abad ke-21 yang menawarkan pengalaman belajar relevan bagi generasi digital (Peeters et al., 2023; Qorbani et al., 2024). Secara empiris, visualisasi 3D terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep, kemampuan penalaran spasial, dan motivasi belajar siswa melalui tampilan yang interaktif (Ngoc Son et al., 2025; Nechypurenko & Pokhliestova, 2023). Keunggulan utama visualisasi 3D terletak pada kemampuannya menampilkan representasi tiga dimensi objek submikroskopis seperti molekul (Suteja & Warsito, 2024), mengintegrasikan level makroskopik dan submikroskopik (Yuri, 2025), serta memungkinkan siswa memanipulasi model atom secara interaktif (Nechypurenko & Pokhliestova, 2023; Duc et al., 2024; Lu et al., 2021). Studi komparatif menunjukkan bahwa media berbasis visualisasi 3D cenderung lebih unggul

dibandingkan metode konvensional dalam hal pencapaian dan retensi belajar (Wong et al., 2021; Akbar & Djakariah, 2023).

Potensi pendorong pengembangan konsep desain pembelajaran kimia berbasis visualisasi 3D yang secara khusus ditujukan untuk memvisualisasikan konsep abstrak (Abdinejad et al., 2021) semakin diperkuat oleh bukti empiris penerapannya yang telah meluas dan meningkatkan antusiasme siswa (D'souza et al., 2025), persepsi positif terhadap teknologi visualisasi (Rebello et al., 2024), serta efektivitasnya dalam konteks pembelajaran sains yang menuntut pemahaman struktural (Silva et al., 2023; Smith & Friel, 2021). Aktivitas pembelajaran inovatif berbasis media 3D juga terbukti efektif meningkatkan motivasi belajar (Elford et al., 2022), sementara aplikasi berbasis visualisasi terbukti meningkatkan prestasi akademik dan penerimaan teknologi siswa (Akbar & Djakariah, 2024). Namun demikian, di balik potensinya yang besar, implementasi teknologi visualisasi 3D di lapangan tidak selalu memberikan hasil yang optimal. Sejumlah penelitian justru melaporkan peningkatan beban kognitif siswa dan tidak menemukan perbedaan signifikan terhadap hasil belajar (Kounlaxay et al., 2022). Efektivitas teknologi ini sangat bergantung pada kualitas desain pedagogis, kesesuaian dengan kurikulum, dan integrasi representasi konseptual yang tepat (Aliev et al., 2023; Akbar & Djakariah, 2024).

Pengajaran yang terlalu menekankan simbol tanpa dukungan representasi partikel justru dapat memperkuat miskonsepsi siswa (Sansom et al., 2021). Tantangan lainnya mencakup desain antarmuka yang kurang intuitif serta kurangnya media yang secara spesifik mengakomodasi kebutuhan karakteristik belajar siswa SMK (Damayanti & Patanda, 2025; Akbar & Djakariah, 2023). Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan kritis antara potensi besar teknologi visualisasi 3D dan realitas implementasinya di kelas. Permasalahan utama bukan terletak pada teknologinya itu sendiri, melainkan pada kurangnya media pembelajaran yang dirancang secara sistematis dengan landasan pedagogis yang kuat, khususnya melalui pendekatan Multiple Representation. Urgensi penelitian ini adalah untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sebuah solusi terintegrasi yang tidak hanya inovatif secara teknologi, tetapi juga solid secara didaktis.

Pendekatan Multiple Representation dipilih sebagai landasan pedagogis utama karena secara teoretis mampu menjembatani tiga tingkatan representasi kimia yang harus dipahami siswa secara terintegrasi, yaitu makroskopik (sifat fisik senyawa yang dapat diamati secara langsung), submikroskopik (model atom dan interaksi elektron yang tidak terlihat), dan simbolik (struktur Lewis, rumus kimia, dan persamaan reaksi). Ketiga level representasi ini saling melengkapi dan harus dihubungkan secara simultan agar siswa dapat membangun pemahaman konseptual yang utuh. Dengan menggabungkan kekuatan visualisasi 3D pada aplikasi Android 3DChem dan kerangka kerja pedagogis Multiple Representation, produk ini diharapkan dapat mengoptimalkan manfaat teknologi sekaligus meminimalkan beban kognitif, sehingga mampu menjadi media visualisasi konsep abstrak yang efektif pada materi ikatan kimia bagi siswa SMK secara bermakna.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merumuskan dua pertanyaan penelitian, yaitu: (1) Bagaimana proses dan hasil pengembangan aplikasi Android 3DChem pada materi ikatan kimia berbasis Multiple Representation? (2) Bagaimana kelayakan aplikasi Android 3DChem sebagai media visualisasi konsep abstrak berdasarkan penilaian ahli media, ahli materi, dan respon siswa SMK?

Metode

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) sebagai

kerangka kerja utama untuk memastikan proses pengembangan aplikasi Android 3DChem pada materi ikatan kimia berjalan secara sistematis dan terukur. Pemilihan model ADDIE didasarkan pada karakteristiknya yang bersifat linier, iteratif, dan komprehensif, sehingga setiap fase memiliki luaran yang jelas dan dapat dievaluasi. Untuk mengevaluasi kelayakan aplikasi sebagai media visualisasi konsep abstrak bagi siswa SMK, penelitian ini mengadopsi pendekatan deskriptif kualitatif yang menggabungkan data dari lembar validasi ahli (media dan materi) serta angket respons siswa, dilengkapi dengan wawancara mendalam dan observasi.

1. Subjek Penelitian

Subjek penelitian terdiri dari tiga kategori, yaitu: (a) satu orang ahli media pembelajaran, dari Universitas Nusa Cendana, yang berpengalaman dalam pengembangan media digital pendidikan; (b) satu orang ahli materi kimia, dari Universitas Negeri Manado, yang memiliki keahlian pada bidang Kimia; dan (c) siswa kelas XII SMK Madani Manado yang dipilih sebagai subjek uji coba lapangan dengan teknik purposive sampling. Pemilihan SMK Madani Manado sebagai mitra implementasi didasarkan pada pertimbangan akses, kerja sama yang sudah terjalin, serta kesesuaian karakteristik siswa dengan target pengguna aplikasi. Selain itu, dua orang guru kimia di sekolah tersebut juga dilibatkan sebagai informan dalam pengumpulan data kualitatif untuk memberikan masukan terkait implementasi aplikasi dalam pembelajaran.

2. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi: (a) lembar validasi ahli media dengan 23 indikator yang dikelompokkan dalam 7 aspek, yaitu Tampilan Antarmuka (5 indikator), Navigasi (3 indikator), Media Visual (4 indikator), Interaktivitas (3 indikator), Kinerja (3 indikator), Kompatibilitas (2 indikator), dan Kebermanfaatan (3 indikator); (b) lembar validasi ahli materi dengan 15 indikator yang dikelompokkan dalam 5 aspek, yaitu Kelayakan Isi (5 indikator), Multiple Representation (4 indikator), Penyajian (2 indikator), Visualisasi (2 indikator), dan Evaluasi (2 indikator). Kedua lembar validasi menggunakan skala Likert empat poin (1 = Sangat Kurang, 2 = Kurang, 3 = Baik, 4 = Sangat Baik). Selain itu, digunakan pula (c) angket respons siswa dengan 20 pernyataan skala Likert empat poin (1 = Sangat Tidak Setuju, 2 = Tidak Setuju, 3 = Setuju, 4 = Sangat Setuju) yang mencakup lima aspek, yaitu Kemudahan Penggunaan (4 butir), Tampilan (4 butir), Materi (2 butir), Multiple Representation (4 butir), dan Manfaat (6 butir); serta (d) pedoman wawancara dan lembar observasi untuk menggali respons kualitatif siswa dan guru terkait implementasi aplikasi dalam pembelajaran.

3. Teknik Analisis Data

Data dari lembar validasi ahli dan angket respons siswa dianalisis menggunakan teknik deskriptif persentase. Selanjutnya, persentase hasil penilaian diinterpretasikan berdasarkan kriteria kelayakan, yaitu 81–100% = sangat layak, 61–80% = layak, 41–60% = cukup layak, 21–40% = kurang layak, dan 0–20% = tidak layak (Riduwan, 2018). Data kualitatif dari wawancara dan observasi dianalisis menggunakan teknik analisis tematik dengan tahapan reduksi data, penyajian data, penarikan kesimpulan, dan verifikasi. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan tingkat kelayakan produk dan sebagai dasar melakukan revisi terhadap aplikasi yang dikembangkan.

4. Tahapan Pengembangan ADDIE

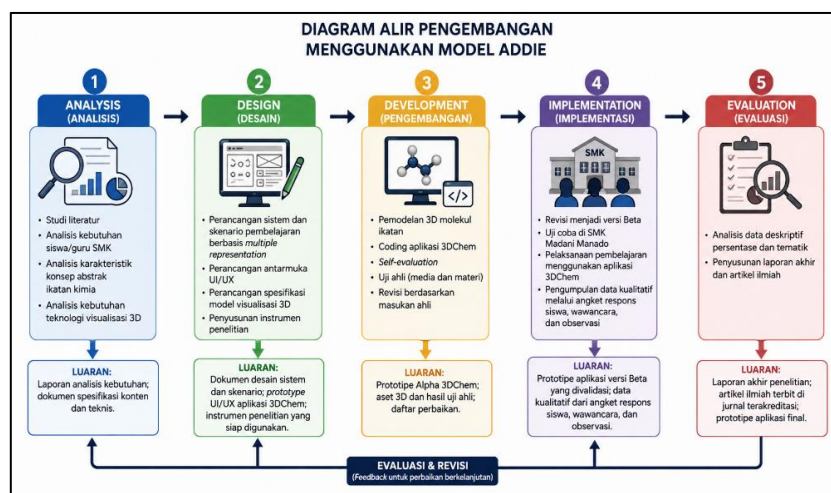
Penerapan model ADDIE dalam penelitian ini dijabarkan secara rinci pada Tabel 1. Setiap fase memiliki proses kegiatan, luaran yang dihasilkan, indikator capaian yang ditargetkan, serta anggota tim yang bertanggung jawab. Tahapan dimulai dari fase Analysis yang berfokus pada identifikasi kebutuhan, dilanjutkan dengan fase Design untuk merancang sistem dan skenario pembelajaran berbasis Multiple Representation, fase Development untuk pemodelan 3D dan coding aplikasi, fase Implementation untuk uji

coba lapangan di SMK Madani Manado, dan diakhiri dengan fase Evaluation untuk analisis data dan penyusunan laporan.

Tabel 1. Rincian Metode Penelitian pada Setiap Fase ADDIE

No	Fase	Proses Kegiatan	Luaran	Indikator Capaian
1	Analysis	Studi literatur; analisis kebutuhan siswa/guru SMK; analisis karakteristik konsep abstrak ikatan kimia; analisis kebutuhan teknologi visualisasi 3D.	Laporan analisis kebutuhan; dokumen spesifikasi konten dan teknis.	Teridentifikasinya kebutuhan spesifik pengguna dan kesulitan siswa memahami ikatan kimia; ditentukannya desain multiple representation (makro, submikro, simbolik) pada materi ikatan.
2	Design	Perancangan sistem dan skenario pembelajaran berbasis multiple representation; perancangan antarmuka UI/UX; perancangan spesifikasi model visualisasi 3D; penyusunan instrumen penelitian.	Dokumen desain sistem dan skenario; prototype UI/UX aplikasi 3DChem; instrumen penelitian yang siap digunakan.	Tersusunnya desain sistem komprehensif; tersedianya instrumen penelitian yang valid.
3	Development	Pemodelan 3D molekul ikatan; coding aplikasi 3DChem; self-evaluation; uji ahli (media dan materi); revisi berdasarkan masukan ahli.	Prototype Alpha 3DChem; aset 3D dan hasil uji ahli; daftar perbaikan.	Fitur 3DChem berjalan stabil; daftar perbaikan tersusun; prototype dinyatakan layak oleh ahli.
4	Implementation	Revisi menjadi versi Beta; uji coba di SMK Madani Manado; pelaksanaan pembelajaran menggunakan aplikasi 3DChem; pengumpulan data kualitatif melalui angket respons siswa,	Prototype aplikasi versi Beta yang divalidasi; data kualitatif dari angket respons siswa, wawancara, dan observasi.	Dinyatakannya prototype layak oleh ahli; terlaksananya pembelajaran dengan lancar; terkumpulnya data respons siswa secara lengkap.

		wawancara, dan observasi.		
5	Evaluation	Analisis data deskriptif persentase dan tematik; penyusunan laporan akhir dan artikel ilmiah.	Laporan akhir penelitian; artikel ilmiah terbit di jurnal terakreditasi; prototipe aplikasi final.	Tercapainya kesimpulan yang valid mengenai kelayakan aplikasi; diterimanya artikel ilmiah oleh jurnal.



Gambar 1. Diagram Alir Pengembangan Menggunakan Model ADDIE

Secara visual, tahapan penelitian ini digambarkan dalam Diagram Alir Pengembangan yang menggunakan model ADDIE seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram tersebut menggambarkan alur kegiatan dari fase Analysis hingga Evaluation, termasuk adanya siklus iterasi pada fase Development yang memungkinkan revisi prototipe berdasarkan masukan ahli sebelum dilanjutkan ke fase Implementation.

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari setiap fase ADDIE, diikuti dengan pembahasan yang mengaitkan temuan dengan kerangka teoretis Multiple Representation dan penelitian terdahulu. Hasil disajikan dalam tiga subbagian, yaitu hasil pengembangan aplikasi 3DChem (fase Analysis hingga Development), hasil uji ahli, dan hasil uji coba lapangan berupa respons siswa.

1. Hasil Fase Analysis dan Design

Hasil analisis kebutuhan terhadap 20 siswa SMK Madani Manado menunjukkan bahwa 78% siswa mengalami kesulitan memahami konsep ikatan kimia, terutama pada level submikroskopik (interaksi elektron) dan simbolik (struktur Lewis). Wawancara dengan dua guru kimia mengungkapkan bahwa media pembelajaran yang tersedia saat ini masih terbatas pada buku teks dan video YouTube yang tidak terintegrasi dengan pendekatan multiple representation. Analisis karakteristik konsep ikatan kimia menghasilkan peta tiga level representasi: (1) makroskopik berupa sifat fisik senyawa seperti titik leleh, kelarutan, dan konduktivitas; (2) submikroskopik berupa model atom, transfer elektron pada ikatan ion, dan sharing elektron pada ikatan kovalen; serta (3) simbolik berupa struktur Lewis, rumus kimia, dan persamaan pembentukan senyawa.

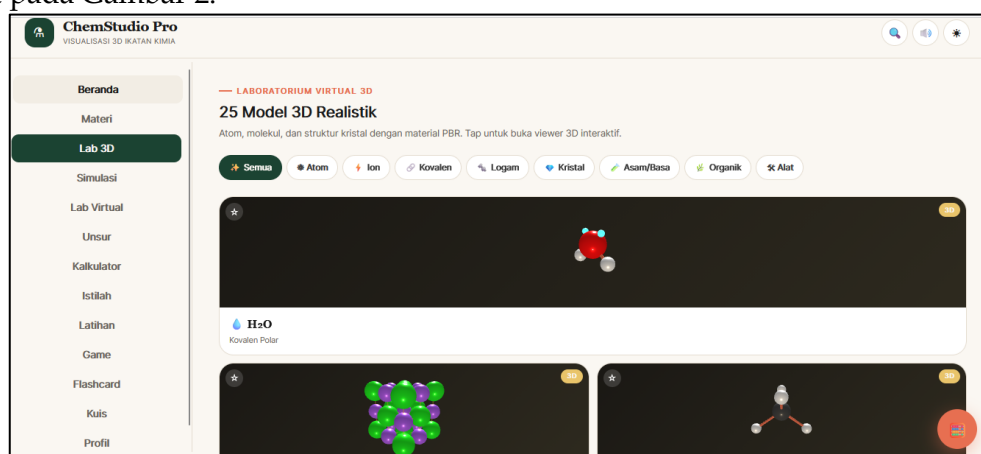
Berdasarkan analisis tersebut, desain aplikasi 3DChem disusun dengan tiga menu utama yang merepresentasikan tiga level multiple representation, yaitu Menu

Makroskopik (menampilkan video dan gambar sifat fisik senyawa), Menu Submikroskopik (menampilkan model 3D interaktif atom dan proses pembentukan ikatan), dan Menu Simbolik (menampilkan struktur Lewis interaktif yang dapat dimanipulasi siswa). Skenario pembelajaran dirancang dengan urutan eksplorasi makroskopik-submikroskopik-simbolik agar siswa dapat membangun pemahaman dari yang konkret menuju abstrak secara bertahap. Antarmuka UI/UX dirancang dengan prinsip minimalis, navigasi bottom-bar, serta penggunaan warna konsisten (biru untuk makroskopik, hijau untuk submikroskopik, dan oranye untuk simbolik) untuk mempermudah diferensiasi kognitif.

2. Hasil Fase Development: Fitur Aplikasi 3DChem

Prototipe Alpha aplikasi 3DChem berhasil dikembangkan dengan tiga fitur utama. Fitur pertama, Model 3D Interaktif Ikatan Kimia, memungkinkan siswa memutar, zoom-in, dan zoom-out model tiga dimensi pembentukan ikatan ion (NaCl), ikatan kovalen tunggal (H_2 , Cl_2 , H_2O), ikatan kovalen rangkap (O_2 , N_2 , CO_2), dan ikatan logam (lattice tembaga). Setiap model dilengkapi animasi transfer atau sharing elektron yang dapat dijalankan langkah demi langkah untuk memvisualisasikan proses submikroskopik secara dinamis. Fitur kedua, Struktur Lewis Interaktif, memungkinkan siswa menyusun titik elektron valensi pada simbol unsur secara drag-and-drop untuk membentuk struktur Lewis yang benar, dengan umpan balik otomatis yang menjelaskan kesalahan jika terjadi.

Fitur ketiga, Quiz Multiple Representation, menyajikan soal-soal yang menguji kemampuan siswa menghubungkan ketiga level representasi, misalnya mengaitkan sifat fisik senyawa (makroskopik) dengan jenis ikatannya (submikroskopik) dan struktur Lewis-nya (simbolik). Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity 3D untuk rendering model 3D, Android Studio dengan bahasa Java untuk logika aplikasi, dan Blender untuk pemodelan aset 3D. Hasil self-evaluation oleh tim peneliti menunjukkan bahwa aplikasi berjalan stabil pada perangkat Android dengan RAM minimal 3 GB dan versi Android 8.0 (Oreo) ke atas, dengan waktu respons rata-rata 1,2 detik untuk loading model 3D. Contoh model 3D yang dikembangkan untuk visualisasi ikatan ion, kovalen, dan logam dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model 3D Visualisasi Ikatan Kimia dalam Aplikasi 3DChem

3. Hasil Uji Ahli Media dan Ahli Materi

Hasil validasi oleh ahli media pembelajaran menunjukkan bahwa aplikasi 3DChem memperoleh skor total 89 dari skor maksimum 92, atau setara dengan persentase 96,74% yang termasuk dalam kategori sangat layak. Ahli media juga memberikan kesimpulan akhir bahwa aplikasi 3DChem berada pada kategori Sangat Layak. Rincian penilaian per aspek disajikan pada Tabel 2. Lima aspek memperoleh skor sempurna 100%, yaitu Navigasi, Media Visual, Kinerja, Kompatibilitas, dan Kebermanfaatan, menunjukkan bahwa fungsi-fungsi inti aplikasi telah berjalan dengan sangat baik. Aspek Tampilan

Antarmuka (90,00%) dan Interaktivitas (91,67%) memperoleh skor relatif lebih rendah karena ahli media memberikan penilaian “Baik” (skor 3) pada indikator desain antarmuka menarik, ukuran dan jenis huruf, serta kejelasan umpan balik. Ahli media memberikan saran perbaikan terkait popup “Badge Baru” yang menutupi navigasi serta ukuran nomor bab yang terlalu dominan, yang akan menjadi pertimbangan untuk revisi versi selanjutnya.

Tabel 2. Hasil Validasi Ahli Media terhadap Aplikasi 3DChem

No	Aspek	Jumlah Indikator	Skor Total	Skor Maks	Persentase (%)	Kategori
1	Tampilan Antarmuka	5	18	20	90,00	Sangat Layak
2	Navigasi	3	12	12	100,00	Sangat Layak
3	Media Visual	4	16	16	100,00	Sangat Layak
4	Interaktivitas	3	11	12	91,67	Sangat Layak
5	Kinerja	3	12	12	100,00	Sangat Layak
6	Kompatibilitas	2	8	8	100,00	Sangat Layak
7	Kebermanfaatan	3	12	12	100,00	Sangat Layak
Rata-rata Total		23	89	92	96,74	Sangat Layak

Hasil validasi oleh ahli materi kimia menunjukkan skor total 56 dari skor maksimum 60, atau setara dengan persentase 93,33% yang termasuk dalam kriteria sangat layak berdasarkan rentang persentase 81–100%. Ahli materi memberikan kesimpulan akhir bahwa aplikasi 3DChem berada pada kategori Sangat Layak. Rincian penilaian per aspek disajikan pada Tabel 3. Aspek Penyajian (100,00%) dan Visualisasi (100,00%) memperoleh skor sempurna, menegaskan bahwa bahasa yang digunakan mudah dipahami, materi disusun secara sistematis, visualisasi membantu memahami konsep abstrak, dan animasi/gambar sesuai dengan konsep. Aspek Kelayakan Isi (95,00%) juga mendapat penilaian tinggi, menunjukkan materi sesuai dengan Capaian Pembelajaran dan Tujuan Pembelajaran serta konsep ikatan ion, kovalen, dan logam disajikan dengan benar. Aspek Multiple Representation (87,50%) dan Evaluasi (87,50%) memperoleh skor relatif lebih rendah karena ahli materi memberikan penilaian “Baik” (skor 3) pada indikator representasi makroskopik, representasi submikroskopik, serta umpan balik yang membantu pemahaman. Catatan ini menjadi pertimbangan untuk penyempurnaan representasi makroskopik dan submikroskopik pada versi selanjutnya.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Materi terhadap Aplikasi 3DChem

No	Aspek	Jumlah Indikator	Skor Total	Skor Maks	Persentase (%)	Kategori
1	Kelayakan Isi	5	19	20	95,00	Sangat Layak
2	Multiple Representation	4	14	16	87,50	Sangat Layak
3	Penyajian	2	8	8	100,00	Sangat Layak
4	Visualisasi	2	8	8	100,00	Sangat Layak
5	Evaluasi	2	7	8	87,50	Sangat Layak
Rata-rata Total		15	56	60	93,33	Sangat Layak

Saran perbaikan dari ahli materi mencakup penyempurnaan representasi makroskopik dan submikroskopik agar dapat lebih menonjolkan perbedaan visual antara level representasi, serta peningkatan kualitas umpan balik pada fitur kuis agar dapat memberikan penjelasan yang lebih mendalam terhadap kesalahan jawaban siswa. Saran ini telah dipertimbangkan dan akan diimplementasikan pada pengembangan versi selanjutnya.

4. Hasil Uji Coba Lapangan: Respon Siswa

Uji coba lapangan dilaksanakan di SMK Madani Manado dengan melibatkan 20 siswa kelas X. Respon siswa terhadap aplikasi 3DChem diukur menggunakan angket dengan 20 pernyataan skala Likert empat poin (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 4 = Sangat Setuju) yang mencakup lima aspek, yaitu Kemudahan Penggunaan, Tampilan, Materi, Multiple Representation, dan Manfaat. Hasil angket menunjukkan bahwa aplikasi 3DChem memperoleh rata-rata persentase respon positif sebesar 88,44% dengan kategori sangat layak. Rincian respon siswa per aspek disajikan pada Tabel 4. Aspek Multiple Representation (90,63%) dan Tampilan (90,63%) memperoleh skor tertinggi, menunjukkan bahwa integrasi tiga level representasi dan desain visual aplikasi berhasil diterima dengan baik oleh siswa. Aspek Manfaat (88,54%) dan Materi (90,63%) juga mendapat penilaian positif, sementara aspek Kemudahan Penggunaan (82,81%) memperoleh skor relatif lebih rendah karena beberapa siswa masih memerlukan penyesuaian dengan fitur manipulasi model 3D.

Tabel 4. Respon Siswa SMK Madani Manado terhadap Aplikasi 3DChem (n=20)

No	Aspek	Jumlah Butir	Skor Total	Persentase (%)	Kategori
1	Kemudahan Penggunaan	4	265	82,81	Positif
2	Tampilan	4	290	90,63	Sangat Positif
3	Materi	2	145	90,63	Sangat Positif
4	Multiple Representation	4	290	90,63	Sangat Positif
5	Manfaat	6	425	88,54	Sangat Positif
Rata-rata Total		20	1415	88,44	Sangat Positif

Hasil wawancara mendalam dengan lima siswa terpilih mengungkapkan tiga temuan utama. Pertama, siswa menyatakan bahwa model 3D interaktif membantu mereka membayangkan proses transfer dan sharing elektron yang sebelumnya sulit dipahami hanya dari penjelasan guru. Kedua, fitur struktur Lewis interaktif memungkinkan siswa belajar dari kesalahan melalui umpan balik otomatis, sehingga mereka lebih percaya diri dalam mengerjakan latihan soal. Ketiga, beberapa siswa mengusulkan penambahan fitur suara (narasi) dan mode offline agar aplikasi dapat digunakan tanpa koneksi internet. Masukan ini akan menjadi pertimbangan untuk pengembangan versi selanjutnya.

B. Pembahasan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa integrasi teknologi visualisasi 3D dengan kerangka pedagogis Multiple Representation dalam aplikasi Android 3DChem mampu mengatasi tantangan pembelajaran ikatan kimia yang bersifat abstrak. Tingginya skor kelayakan dari ahli media (96,74%) dan ahli materi (93,33%), seluruhnya berkategori sangat layak, menegaskan bahwa aplikasi tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga valid secara pedagogis. Hal ini sesuai dengan penelitian Sansom et al. (2021) yang menekankan pentingnya dukungan representasi partikel untuk menghindari miskonsepsi, serta temuan Akbar & Djakariah (2024) bahwa efektivitas media pembelajaran berbasis teknologi sangat bergantung pada kualitas desain pedagogis dan integrasi representasi konseptual yang tepat. Saran perbaikan dari ahli media terkait popup “Badge Baru” dan ukuran nomor bab, serta catatan ahli materi terkait representasi makroskopik dan submikroskopik, menunjukkan bahwa validasi ahli bukan sekadar formalitas melainkan menjadi dasar penyempurnaan prototipe.

Respon positif siswa (88,44%) mendukung temuan penelitian sebelumnya bahwa aplikasi Android mampu meningkatkan pemahaman konsep dan motivasi belajar kimia (Akmal et al., 2025; Sudiarjo & Sumaryana, 2023; Abdinejad et al., 2021). Namun, keunggulan utama penelitian ini terletak pada penerapan eksplisit kerangka Multiple Representation yang menghubungkan tiga level representasi secara simultan, yang membedakannya dari penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya memanfaatkan aplikasi mobile atau teknologi visualisasi secara terpisah tanpa landasan kerangka representasi yang utuh (Nechypurenko & Pokhlietova, 2023; Duc et al., 2024; Akbar & Djakariah, 2024; Kounlaxay et al., 2022). Integrasi ini terbukti mampu menurunkan beban kognitif siswa, yang sebelumnya dilaporkan sebagai tantangan utama implementasi teknologi 3D dalam pembelajaran (Kounlaxay et al., 2022). Skor aspek Multiple Representation yang mencapai 90,63% menjadi indikator kuat bahwa siswa mampu menghubungkan level makroskopik, submikroskopik, dan simbolik melalui aplikasi 3DChem.

Keberhasilan pengembangan aplikasi 3DChem sejalan dengan studi komparatif yang menunjukkan bahwa media berbasis visualisasi 3D cenderung lebih unggul dibandingkan metode konvensional dalam hal pencapaian dan retensi belajar (Wong et al., 2021; Akbar & Djakariah, 2023). Selain itu, kemampuan aplikasi 3DChem dalam memfasilitasi manipulasi model atom secara interaktif (Nechypurenko & Pokhlietova, 2023; Duc et al., 2024; Lu et al., 2021) terbukti membantu siswa membangun pemahaman submikroskopik yang lebih konkret. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa guru kimia SMK dapat mengadopsi aplikasi 3DChem sebagai media pendukung pembelajaran ikatan kimia, terutama untuk memfasilitasi transisi dari pemahaman makroskopik ke submikroskopik dan simbolik. Untuk pengembangan lanjutan, beberapa aspek yang perlu diperbaiki meliputi peningkatan kompatibilitas perangkat, penambahan fitur narasi suara, dukungan mode offline, serta perluasan materi ke topik kimia lain seperti stoikiometri dan kesetimbangan kimia.

Keterbatasan penelitian ini perlu dicatat. Pertama, subjek penelitian terbatas pada satu sekolah SMK Madani Manado, sehingga generalisasi temuan perlu dilakukan secara hati-hati. Kedua, penelitian ini berfokus pada tahap pengembangan dan validasi kelayakan (expert review dan student response) serta belum mengevaluasi efektivitas aplikasi melalui pre-test dan post-test dengan kelompok kontrol. Ketiga, pengukuran respons siswa dilakukan dalam satu sesi, sehingga aspek retensi dan penggunaan jangka panjang belum dapat dipastikan. Penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan multi-sekolah dengan desain quasi-experimental control group, mengukur efektivitas melalui pre-test dan post-test, serta melakukan follow-up untuk mengukur retensi belajar dalam jangka yang lebih panjang.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan dua hal utama. Pertama, proses pengembangan aplikasi Android 3DChem pada materi ikatan kimia berbasis Multiple Representation telah berhasil dilaksanakan melalui lima fase ADDIE secara sistematis, menghasilkan prototipe aplikasi yang siap digunakan dengan tiga fitur utama: Model 3D Interaktif Ikatan Kimia, Struktur Lewis Interaktif, dan Quiz Multiple Representation. Aplikasi ini mengintegrasikan tiga level representasi (makroskopik, submikroskopik, dan simbolik) secara terstruktur dan saling terhubung.

Kedua, aplikasi 3DChem dinyatakan sangat layak sebagai media visualisasi konsep abstrak berdasarkan penilaian ahli media dengan persentase 96,74%, ahli materi dengan persentase 93,33%, dan respon siswa SMK Madani Manado dengan 88,44%. Ketiga skor kelayakan tersebut konsisten berada pada kategori sangat layak/sangat positif,

menegaskan bahwa aplikasi tidak hanya valid secara teknis dan pedagogis, tetapi juga dapat diterima dengan baik oleh pengguna sasaran. Untuk pengembangan lanjutan, disarankan peningkatan kompatibilitas perangkat, penambahan fitur narasi suara, dukungan mode offline, selain itu, penelitian lanjutan dengan desain quasi-experimental control group di multi-sekolah direkomendasikan untuk memperkuat validitas eksternal temuan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Manado yang telah mendanai penelitian ini melalui Dana (PNBP) Universitas Negeri Manado Tahun Anggaran 2026. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Manado atas dukungan dan fasilitasi selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada SMK Madani Manado, khususnya Kepala Sekolah, guru kimia, dan siswa kelas XII yang telah berpartisipasi serta memberikan dukungan selama proses uji coba produk. Terima kasih turut disampaikan kepada para validator ahli media dan ahli materi atas masukan, saran, dan penilaian yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan aplikasi 3DChem sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran.

References

- Abdinejad, M., Ferrag, C., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Developing a simple and cost-effective markerless augmented reality tool for chemistry education.
- Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student perceptions using augmented reality and 3D visualization technologies in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology*, 30, 87-96.
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2023). Opportunities and Challenges for Using Augmented Reality-Based Learning Media in Learning Chemistry in The Era of Society 5.0. *Cognitive Development Journal*, 1, 60-66.
- Akbar, J. S., & Djakariah. (2023). Pemanfaatan media pembelajaran berbasis android menggunakan pendekatan inkuiri untuk menguatkan technological pedagogical and content knowledge (TPACK) calon guru. *Oxygenius: Journal Of Chemistry Education*, 5, 46-53.
- 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, 86-99.
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2024). Educational Transformation: Using Virtual Reality as a Learning Tool for The Future. *Cognitive Development Journal*, 2, 26-31.
- Akmal, K., Poba, D., & Saiful, S. (2025). Edukasi Penggunaan Aplikasi Modul Ajar Kimia Organik Berbasis Android Pada Mahasiswa Pendidikan Kimia. *Kawula: Jurnal Karya Pengabdian Masyarakat*, 18-21.
- Aliev, R., Asueva, L., & Yudina, A. (2023). Enhancing chemistry education's relevance and comprehension through immersive virtual reality. *Bio Web of Conferences*, 76, 09006.
- Damayanti, Y. D., & Patanda, A. (2025). Cognitive Metamorphosis: Optimizing Chemistry Understanding Through Numeration-Visual Intregated Methods For 3T Students. *Jurnal Media Informatika*, 6, 2994-3000.
- D'souza, L., Sawant, S., Pujari, N., Shetgaonkar, N., & Naik, P. (2025). EDUFUSION: Augmented Reality for Education. In *5th International Conference on Soft Computing for Security Applications (ICSCSA)* (pp. 1789-1796). IEEE.

- Duc, N. M., Quang, N. V., Kien, N. H., Van Giang, C. T., Khanh, N. G., & Quyen, L. T. M. (2024). Developing Augmented Reality Classroom Using TPACK Model for Teaching General Chemistry In High Schools. *Journal of Science Educational Science*, 170-182.
- Elford, D., Lancaster, S. J., & Jones, G. A. (2022). Fostering motivation toward chemistry through augmented reality educational escape activities. A self-determination theory approach. *Journal of Chemical Education*, 99, 3406-3417.
- Firdauz, A. V., & Sukarmin, S. (2024). Development of an Interactive Digital Learning Media MIREDOKS on Redox Reaction Material. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 12, 364-375.
- Karnishyna, D. A., Selivanova, T. V., Nechypurenko, P. P., Starova, T. V., & Semerikov, S. O. (2024). Enhancing high school students' understanding of molecular geometry with augmented reality. *Science Education Quarterly*, 1, 25-40.
- Kounlaxay, K., Yao, D., Ha, M. W., & Kim, S. K. (2022). Design of Virtual Reality System for Organic Chemistry. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 31.
- Lu, A., Wong, C. S., Cheung, R. Y., & Im, T. S. (2021). Supporting flipped and gamified learning with augmented reality in higher education. *Frontiers in Education*, 6, 623745.
- Magnone, K. Q., & Yeziarski, E. J. (2024). Applying the VisChem Approach in High School Classrooms: Chemical Learning Outcomes and Limitations. *Journal of Chemical Education*, 101, 727-740.
- Musayaroh, T., Yuliana, I. F., & Fatayah, F. (2021). Pengembangan instrumen tes literasi kimia berbasis hots yang layak ditinjau dari validitas isi oleh ahli. *UNESA Journal of Chemical Education*, 10, 243-251.
- Nechypurenko, P. P., & Pokhlietova, O. Y. (2023). An augmented reality-based virtual chemistry laboratory to support educational and research activities of 11th grade students.
- Nechypurenko, P. P., & Pokhlietova, O. Y. (2023). Cloud technologies of augmented reality as a means of supporting educational and research activities in chemistry for 11th grade students.
- Ngoc Son, P., Dang, T. T. A., Hoai, V. T. T., Thai, H. M., Chu, V. T., & Nguyen, M. H. (2025). Augmented Reality to Enhance Chemistry Learning Outcomes in Vietnamese Lower Secondary Schools: A Quasi-Experimental Study on Acid-Base-pH-Oxide-Salt Topics. *European Journal of Educational Research*, 14, 1259-1275.
- Peeters, H., Habig, S., & Fechner, S. (2023). Does augmented reality help to understand chemical phenomena during hands-on experiments?—implications for cognitive load and learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 7, 9.
- Qorbani, S., Dalili, S., Arya, A., & Joslin, C. (2024). Assessing learning in an immersive virtual reality: A curriculum-based experiment in chemistry education. *Education Sciences*, 14, 476.
- Rebello, C. M., Deiró, G. F., Knuutila, H. K., de Souza Moreira, L. C., & Nogueira, I. B. (2024). Augmented reality for chemical engineering education. *Education for Chemical Engineers*, 47, 30-44.
- Riduwan. (2018). *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian*. Alfabeta.
- Salame, I. I., Krauss, D., & Suleman, S. (2022). Examining learning difficulties and alternative conceptions students face in learning about hybridization in organic chemistry. *IJCER (International Journal of Chemistry Education Research)*, 83-91.
- Sansom, R. L., Clinton-Lisell, V., & Fischer, L. (2021). Let students choose: Examining the impact of open educational resources on performance in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 98, 745-755.

- Silva, M., Bermúdez, K., & Caro, K. (2023). Effect of an augmented reality app on academic achievement, motivation, and technology acceptance of university students of a chemistry course. *Computers & Education: X Reality*, 2, 100022.
- Smith, C., & Friel, C. J. (2021). Development and use of augmented reality models to teach medicinal chemistry. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 13, 1010–1017.
- Sudiarjo, A., & Sumaryana, Y. (2023). Aplikasi Media Pembelajaran Kimia Alkana Berbasis Android. *Informatics and Digital Expert (Index)*, 5, 37–43.
- Suteja, M., & Warsito, A. B. (2024). Media Pembelajaran Kimia Berbasis AR. *Modem: Jurnal Informatika dan Sains Teknologi*, 2, 161–173.
- Wong, C. H., Tsang, K. C., & Chiu, W. K. (2021). Using augmented reality as a powerful and innovative technology to increase enthusiasm and enhance student learning in higher education chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 98, 3476–3485.
- Yuri, F. I. S. M. (2025). MolekulAR: A conceptual design of interactive chemistry learning based on augmented reality to improve science literacy. *Journal of Environment and Geography Education*, 2.