

PENGEMBANGAN GAME EDUKASI INTERAKTIF BERBASIS VIRTUAL REALITY DAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE PADA MATERI IKATAN KIMIA

Mira Rosalina¹⁾, Sinantya Feranti Anindya¹⁾, Dimas Muhammad Rizki¹⁾, Yuliana¹⁾,
Amanda Firna¹⁾, Geovanrivo Wibi Morisko Baay¹⁾

1) Program Studi Teknik Multimedia Digital, Politeknik Negeri Jakarta

E-mail: mira.rosalina@tik.pnj.ac.id

Abstrak

Pada pembelajaran Abad 21, teknologi sangat berperan penting dalam mendukung proses pembelajaran. Hasil wawancara kepada guru kimia di SMAS Muhammadiyah 23 Jakarta menyatakan bahwa kendala yang dihadapi dalam pembelajaran adalah siswa masih kesulitan dalam memahami ikatan kimia, pembelajaran masih menggunakan media yang sederhana berupa spidol dan papan tulis, berdasarkan wawancara pendahuluan kepada siswa, pembelajaran masih berpusat kepada guru, siswa merasa kesulitan dan kurang fokus dalam memahami ikatan kimia karena minimnya media pembelajaran interaktif, oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Tujuan penelitian adalah menghasilkan produk Game Edukasi Berbasis Virtual Reality (VR) dan Artificial Intelligence (AI) pada materi ikatan kimia sebagai solusi inovatif dalam pembelajaran. Model yang digunakan pada penelitian pengembangan ini adalah Small Scale Research and Development (R&D) dari Borg dan Gall yang dimodifikasi. Subjek penelitian adalah siswa SMAS Muhammadiyah 23 Jakarta sebanyak 35 orang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dari sisi ahli media, game edukasi yang dikembangkan memperoleh penilaian sangat layak digunakan dengan tingkat kelayakan sebesar 86,33%. Sementara itu, ahli materi memberikan tanggapan bahwa konten dalam game sudah relevan dengan materi ikatan kimia, dengan perolehan skor rata-rata 73,75%. Selanjutnya, hasil uji coba kepada pengguna (siswa) memperoleh rata-rata penilaian 84,33%, yang mengindikasikan bahwa produk game edukasi berbasis VR dan AI dinilai sangat layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran interaktif pada materi ikatan kimia.

Kata kunci: *game edukasi, virtual reality, artificial intelligence, ikatan kimia*

Pendahuluan

Dalam pembelajaran abad 21, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin pesat, hal tersebut berpengaruh terhadap adanya perubahan paradigma pembelajaran yaitu terkait perubahan kurikulum, media, dan teknologi. Berbagai inovasi pembelajaran perlu diterapkan dalam pembelajaran agar menghasilkan kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) yang mampu adaptif dengan perkembangan zaman. Pada umumnya di lapangan, pembelajaran masih dominan menggunakan ceramah yang berpusat pada guru. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dalam praktiknya masih banyak pendidik yang menerapkan pendekatan pembelajaran berpusat pada guru (teacher-centered) dengan menggunakan metode konvensional seperti ceramah. Pola pembelajaran tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar guru belum sepenuhnya menerapkan pendekatan yang sesuai dengan karakteristik pembelajaran abad ke-21, yang menekankan pada keaktifan, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sumardi dkk [1], yang mengungkapkan bahwa kegiatan belajar mengajar di Indonesia masih dominan menggunakan pendekatan tradisional dan cenderung menekankan pada hafalan dibandingkan dengan pembelajaran yang berorientasi pada keterampilan berpikir kritis.

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada salah satu guru kimia di SMAS Muhammadiyah 23 Jakarta, kendala yang dihadapi dalam pembelajaran kimia adalah pada materi ikatan kimia, siswa masih kesulitan dalam memahami tentang ikatan kimia, terutama struktur lewis dan bentuk molekul, pembelajaran masih menggunakan media yang sederhana berupa spidol dan papan tulis. Berdasarkan wawancara kepada siswa, pembelajaran masih berpusat kepada guru, siswa merasa kesulitan dan kurang fokus dalam memahami ikatan kimia, minimnya praktik dan visualisasi sehingga tidak mudah menggambarkan suatu bentuk atom jika tidak ada gambaran jelasnya. Pada materi ikatan kimia ini tidak cukup hanya dengan pembelajaran secara konvensional, tetapi juga perlu pemahaman konsep yang lebih mendalam terutama berkaitan dengan struktur molekul, diperlukan media yang lebih inovatif untuk menjelaskan tentang ikatan kimia. Penelitian yang

dilakukan oleh Mahmudah dan rekan-rekan [2] menunjukkan bahwa sekitar 71,88% siswa di SMAN 1 Ngadirojo, Pacitan, mengalami kesulitan dalam mempelajari konsep ikatan kimia. Hasil ini sejalan dengan temuan Sunyono [3], yang menjelaskan bahwa banyak peserta didik menghadapi hambatan dalam memahami konsep ikatan kimia, karena sifatnya yang abstrak dan tidak dapat diamati secara langsung, terutama dalam memvisualisasikan bentuk atom serta pola interaksi antarmolekulnya.

Konsep-konsep mendasar dalam kimia seperti struktur atom, ikatan kimia, stoikiometri, hidrokarbon, serta reaksi redoks merupakan materi yang menuntut tingkat pemahaman konseptual yang lebih mendalam [4]. Topik-topik tersebut bersifat teoritis dan abstrak, sehingga memerlukan analisis pada level submikroskopik yang sulit diamati secara langsung [5]. Oleh karena itu, penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi menjadi salah satu alternatif untuk membantu peserta didik memahami konsep-konsep tersebut dengan lebih efektif. Pemanfaatan Virtual Reality (VR) saat ini berkembang pesat dan mulai diterapkan dalam dunia pendidikan, karena mampu menciptakan lingkungan belajar imersif yang membuat siswa seolah-olah berada di dalam ruang belajar virtual. Melalui teknologi VR, representasi bentuk molekul dan interaksi atom dapat divisualisasikan secara nyata dalam ruang tiga dimensi. Dalam penelitian ini, pengembangan game edukasi berbasis Virtual Reality dan Artificial Intelligence (AI) dilakukan menggunakan berbagai aplikasi pendukung seperti Blender untuk pembuatan aset 3D dan Gemini AI sebagai sistem kecerdasan buatan yang berfungsi memberikan respons adaptif kepada pengguna. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini diberi judul “Pengembangan Game Edukasi Interaktif Berbasis Virtual Reality dan Artificial Intelligence pada Materi Ikatan Kimia.”

Studi Pustaka

Kimia merupakan ilmu yang mempelajari sifat, struktur, dan perubahan materi, serta memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Di tingkat SMA, kimia menjadi mata pelajaran wajib yang diajarkan sejak kelas X. Namun, beberapa konsep dalam kimia, seperti struktur atom, tata nama senyawa, ikatan kimia, dan reaksi kimia, masih dianggap sulit dipahami oleh siswa [7]. Pada penelitian ini berfokus pada penjelasan tentang ikatan ion dan ikatan kovalen, Ikatan ion dan ikatan kovalen merupakan konsep dasar dalam kimia yang menjadi pondasi untuk memahami sifat zat (mis. titik leleh, konduktivitas, kelarutan) dan reaktivitas. Karena sifatnya yang abstrak (interaksi elektron pada skala atom/molekul), banyak siswa memiliki kesulitan konseptual dan miskonsepsi ketika mempelajarinya[8].

Dalam dunia pendidikan, teknologi Virtual Reality (VR) memiliki potensi besar untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mendalam. Menurut Ruiz-Cantisani et al [9], pengalaman imersif yang dihadirkan oleh VR dapat meningkatkan keterlibatan siswa serta memberikan mereka kebebasan dalam mengeksplorasi materi pembelajaran. Selain itu, teknologi ini juga berperan dalam meningkatkan minat belajar, keterlibatan siswa, serta membantu mereka memahami konsep-konsep abstrak dengan lebih baik [10].

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam bidang kimia telah membawa perubahan signifikan dalam metode pembelajaran ilmu kimia. Dengan dukungan teknologi AI, analisis data dalam jumlah besar dapat dilakukan dengan lebih akurat dan efisien. AI juga memungkinkan prediksi sifat-sifat molekuler secara lebih tepat, sehingga memberikan wawasan mendalam terhadap struktur dan perilaku molekul [11]. AI memiliki kemampuan untuk memproses data besar dan kompleks, memberikan peluang signifikan dalam meningkatkan metode pengajaran dan pemahaman konsep-konsep kimia yang sering dianggap rumit. Penggunaan AI dalam pembelajaran kimia menawarkan berbagai peluang, termasuk personalisasi pembelajaran, umpan balik yang ditingkatkan, peran sebagai asisten virtual, dukungan pada penelitian, efisiensi, dan peningkatan keterlibatan siswa [12]. Dalam penelitian sebelumnya [13], dilakukan uji kelayakan dan uji coba terhadap media pembelajaran VARITY, dan hasilnya menunjukkan bahwa media tersebut termasuk dalam kategori sangat layak baik dari aspek materi maupun tampilan media. Nilai rata-rata persentase validitas produk pada aspek materi mencapai 87,32%, sedangkan pada aspek media memperoleh hasil sebesar 89,30%, keduanya termasuk dalam kategori sangat layak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran VARITY memiliki potensi tinggi untuk diimplementasikan dalam proses pembelajaran di kelas. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah adanya integrasi

game edukasi berbasis VR dan AI pada materi ikatan kimia, yang merupakan inovasi untuk media pembelajaran di sekolah.

Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan merupakan metode pengembangan (Research and Development) dengan fokus menghasilkan produk multimedia interaktif berupa game edukasi berbasis Virtual Reality (VR) dan Artificial Intelligence (AI) pada materi ikatan kimia. Model pengembangan yang diterapkan mengacu pada Small Scale Research and Development (R&D) yang dimodifikasi dari model Borg dan Gall yaitu analisis kebutuhan, perencanaan, pengembangan draf produk, uji coba awal, revisi produk, uji coba lapangan, dan diseminasi. Proses pengumpulan serta analisis data dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dan kualitatif, yang secara komplementer memberikan gambaran empiris dan interpretatif untuk memperkuat hasil penelitian [14].

Hasil dan Pembahasan

Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan proses identifikasi kebutuhan pengguna, tujuan produk, konten yang disampaikan, hingga platform dan output yang dihasilkan. Analisis kebutuhan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Kebutuhan






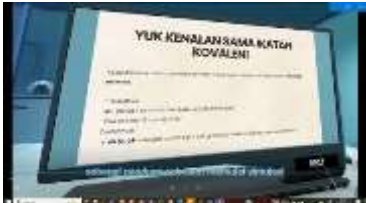


Aspek	Deskripsi
Nama Produk	MolekuLab
Target Audiens	Siswa SMA kelas XI – khususnya yang sudah mempelajari materi ikatan ion dan kovalen
Tujuan Produk	Menghasilkan produk game edukasi berbasis VR dan AI untuk membantu siswa memahami konsep pembentukan molekul ion dan kovalen
Konten	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materi pembelajaran interaktif sebelum memulai permainan untuk menjelaskan konsep ikatan ion dan kovalen secara visual dan ringkas 2. Game terdiri dari dua topik utama yaitu ikatan ion dan ikatan kovalen, masing-masing memiliki 3 level soal bertahap (mudah, medium, sulit) 3. AI Assistant sebagai pembimbing virtual yang mendampingi siswa selama permainan 4. Memberikan umpan balik langsung terhadap jawaban (benar/salah) 5. Menyediakan penjelasan atau materi tambahan saat siswa kesulitan 6. Memberikan petunjuk permainan saat siswa bingung dalam navigasi atau interaksi
Output Produk	<ol style="list-style-type: none"> 1. Game edukasi dengan output .exe 2. Dapat digunakan untuk simulasi belajar mandiri 3. Menampilkan skor akhir setelah seluruh level selesai sebagai refleksi pemahaman siswa
Platform	Desktop, Perangkat VR Quest 2


Pada tahap perancangan, sejumlah aktivitas dilakukan untuk mendukung proses pengembangan, di antaranya meliputi penyusunan diagram blok (Block Diagram) dan pembuatan storyboard sebagai rancangan visual alur interaksi pengguna dalam game. *Block Diagram* ini menggambarkan alur interaksi pengguna dalam game MolekuLab. Saat pengguna membuka game, tampilan awal yang muncul adalah *StartScreen* yang menyajikan beberapa pilihan menu utama, yaitu *Start*, *Tutorial*, *Settings*, dan *Exit*. Ketika pengguna memilih opsi *Start*, mereka akan diarahkan ke Ruang Lab, yang merupakan lingkungan utama tempat aktivitas pembelajaran berlangsung. Di dalam ruangan ini, pengguna dapat berinteraksi dengan tiga elemen penting, yaitu Soal, Robot AI, dan Monitor. Monitor berfungsi menampilkan materi-materi kimia sebagai referensi tambahan, sedangkan Robot AI berperan sebagai asisten virtual yang membantu pengguna menjawab soal dan

bertindak sebagai pemandu di dalam lab. Bagian soal terdiri dari dua topik utama, yaitu Ikatan Ion dan Ikatan Kovalen. Masing-masing topik memiliki tiga tingkat kesulitan, level mudah, level medium, dan level sulit. Level mudah dan medium masing-masing terdiri dari 3 soal, sedangkan level sulit terdiri dari 4 soal. Pengguna akan mengerjakan soal secara berurutan dari level paling mudah hingga tersulit, tanpa perlu memilih secara manual. Jika pengguna mengalami kesulitan dalam menjawab soal, mereka dapat meminta bantuan Robot AI yang akan memberikan penjelasan tambahan dan umpan balik secara interaktif.

Pada tahap pengembangan draf produk dilakukan proses pengumpulan berbagai material yang dibutuhkan dalam pengembangan game, seperti objek 3D, aset antarmuka pengguna (UI), musik latar, efek suara, serta paket Unity. Sebanyak 117 aset 3D dikembangkan menggunakan aplikasi Blender. Aset ini terdiri dari unsur kimia, molekul, peralatan laboratorium, interior ruangan, hingga elemen interaktif seperti layar monitor dan hologram. Pada proses pembuatan produk, dilakukan integrasi seluruh aset 2D maupun 3D ke dalam lingkungan laboratorium virtual yang telah dirancang. Proses penggabungan ini mencakup penyusunan tata letak objek dan penempatan elemen interaktif. *Storyboard* dan implementasi pada unity dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Storyboard dan Produk

Bagian	Tampilan	Produk yang sudah dibuat
Halaman Utama		
Masuk Ruang Lab		
Penjelasan Materi		
Game Pertanyaan		

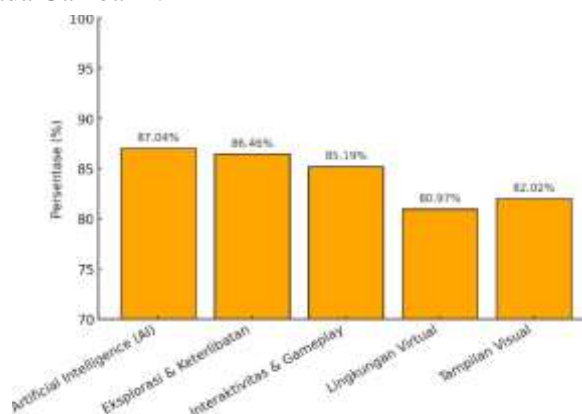
Bagian	Tampilan	Produk yang sudah dibuat
Tanya AI, bagi yang merasa kesulitan dalam mengerjakan soal bisa menanyakan AI dengan klik tombol tanya AI		

Pada tahap uji coba dilakukan uji alpha testing oleh tim peneliti dengan hasil game edukasi yang dibuat sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dimulai dari tahap penyusunan konsep, pembuatan aset, integrasi materi ke dalam Unity, hingga pengujian semua fitur dan interaksi yang ada dalam game. Fitur yang diuji mencakup fungsi tombol, navigasi menu, kontrol pergerakan di Ruang Lab, tampilan soal pada monitor, dan interaksi dengan Robot AI. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan seluruh alur game berjalan lancar, materi sesuai dengan kurikulum, dan tidak terdapat bug yang mengganggu. Seluruh proses pengujian dicatat dalam bentuk masukan, hasil yang diperoleh, dan kesimpulan untuk tiap scene yang diuji. Setelah dilakukan Alpha Testing, seluruh komponen dalam pengembangan game MolekuLab seperti konsep game, penyusunan soal, alur permainan, interaksi dengan AI, hingga aset visual telah diuji dan berfungsi dengan baik sesuai rencana.

Pada uji beta testing oleh media, terdapat 3 ahli yang memberikan penilaian yaitu Ardie Rasyad, dari PT Sembilan Matahari, Arie Affianto dari Mocchie Mitten, dan Indah Sari dari Polargate, diperoleh nilai rata-rata keseluruhan sebesar 86,33%. Persentase ini menunjukkan bahwa kualitas game termasuk dalam kategori sangat baik, yang berarti aspek antarmuka pengguna (UI), pengalaman pengguna (UX), aset visual 3D, integrasi Virtual Reality (VR), Artificial Intelligence (AI), serta konsistensi visual dan branding telah dinilai efektif serta mendukung tujuan edukatif game. Hasil ini mengindikasikan bahwa game edukasi layak digunakan sebagai media pembelajaran interaktif berbasis VR dan AI untuk memahami konsep ikatan kimia secara visual dan kontekstual.

Berdasarkan hasil penilaian dari ahli materi terhadap game edukasi interaktif berbasis Virtual Reality dan Artificial Intelligence pada materi ikatan kimia, diperoleh rata-rata skor sebesar 73,75%. Persentase tersebut termasuk dalam kategori baik, yang menunjukkan bahwa konten materi yang disajikan dalam game sudah relevan dengan kompetensi dasar, akurat secara ilmiah, serta mampu mendukung pemahaman konsep ikatan kimia melalui visualisasi dan interaksi.

Berdasarkan respon siswa memberikan respon positif terhadap semua aspek dengan persentase 84,33% dengan kategori sangat baik, skor tertinggi pada fitur AI dan eksplorasi dalam lingkungan VR dengan persentase 87,04% dan 86,46% sementara aspek tampilan visual dan lingkungan virtual masih dapat ditingkatkan agar lebih optimal. Persentase rata-rata tiap aspek penilaian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Persentase rata-rata tiap aspek penilaian

Hasil analisis instrumen menunjukkan bahwa seluruh butir pernyataan pada angket memiliki tingkat validitas yang baik, ditunjukkan oleh nilai korelasi item-total (r -hitung) yang lebih besar dari r -tabel dengan nilai signifikansi di bawah 0,05, sehingga semua item dinyatakan valid dan mampu mengukur konstruk yang dimaksud. Uji reliabilitas menghasilkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,955 yang termasuk dalam kategori sangat tinggi, menandakan bahwa instrumen memiliki konsistensi internal yang kuat dan layak digunakan sebagai alat ukur dalam penelitian ini [15]. Analisis statistik deskriptif menunjukkan bahwa skor rata-rata keseluruhan adalah 3.36 dari 4 dengan kategori sangat baik yang menunjukkan bahwa respon siswa sangat positif terhadap media yang dikembangkan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Adytia dan Dwiningsih [5], yang mengembangkan student worksheet berbasis literasi sains pada materi ikatan kimia. Mereka menemukan bahwa penggunaan media berbasis visualisasi konseptual dapat meningkatkan kemampuan literasi dan pemahaman siswa terhadap konsep ikatan kimia yang bersifat abstrak. Hal ini mendukung temuan dalam penelitian ini bahwa visualisasi tiga dimensi melalui VR mampu memfasilitasi pemahaman siswa terhadap representasi struktur atom dan molekul secara lebih konkret.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah game edukasi interaktif berbasis teknologi Virtual Reality (VR) dan Artificial Intelligence (AI) pada materi ikatan kimia. Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Small Scale Research and Development (R&D) hasil modifikasi dari Borg dan Gall. Berdasarkan hasil uji *alpha testing*, produk game edukasi yang dikembangkan telah menunjukkan kesesuaian dengan rancangan yang diharapkan. Selanjutnya, hasil *beta testing* oleh ahli media memperoleh penilaian dengan rata-rata 86,33%, yang dikategorikan sangat layak digunakan. Sementara itu, ahli materi memberikan nilai 73,75%, yang menunjukkan bahwa konten pembelajaran dalam game telah relevan dengan konsep ikatan kimia. Hasil uji terhadap siswa memperoleh rata-rata 84,33% dengan kategori sangat baik, yang menandakan bahwa siswa memberikan tanggapan positif terhadap media pembelajaran yang dikembangkan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa game edukasi berbasis VR dan AI ini layak digunakan sebagai media pembelajaran inovatif pada materi ikatan kimia. Untuk pengembangan berikutnya, disarankan agar materi dan mekanisme permainan dapat disempurnakan menjadi bentuk interaksi yang lebih dinamis dan berorientasi pada *adventure learning* agar meningkatkan keterlibatan siswa secara lebih mendalam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Jakarta atas dukungan dan kontribusinya dalam pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini memperoleh pendanaan melalui Skema Penelitian Asisten Ahli (PAA) dengan nomor kontrak 217/PL3.A.10/PT.00.06/2025.

Daftar Pustaka

- [1] L. Sumardi, A. Rohman, and D. Wahyudiati, "Does the teaching and learning process in primary schools correspond to the characteristics of the 21st century learning," *International Journal of Instruction*, vol. 13, no. 3, pp. 357–370, 2020.
- [2] S. Mahmudah, Suyatno, and W. Widodo, "Pengembangan perangkat pembelajaran kimia menggunakan model pembelajaran kooperatif tipe NHT berbasis representasi majemuk (multiple representasi) untuk meningkatkan hasil belajar," *Pendidikan Sains Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya*, vol. 5, no. 2, pp. 1077–1083, 2021.
- [3] Sunyono, I. W. Wirya, G. Sujadi, and E. Suyanto, "Produksi model LKS dan media

- [4] S. Samon and S. T. Levy, “Interactions between reasoning about complex systems and conceptual understanding in learning chemistry,” *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 57, no. 1, pp. 58–86, 2020. doi:10.1002/tea.21585
- [5] P. F. Adytia and K. Dwiningsih, “Developing student worksheet oriented to science literacy in chemical bonding matter to train student’s science literacy ability in senior high school,” *Proceedings of SNK-18*, Atlantis Press, 2018. [Online]. Available: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/snk-18/25904379>
- [6] K. Herlangga, “Virtual reality dan perkembangannya,” 2016. [Online]. Available: <https://www.codepolitan.com/virtual-reality-dan-perkembangannya>
- [7] A. S. Prasetyo, S. A. Wibowo, and M. Orisa, “Augmented reality senyawa kimia sebagai media pembelajaran bagi siswa SMA berbasis Android,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 4, no. 1, pp. 332–340, 2020. doi:10.36040/jati.v4i1.2354
- [8] K. H. Hunter, J.-M. G. Rodriguez, and N. M. Becker, “Enhancing student understanding of chemical bonding through virtual learning tools,” *Journal of Chemical Education*, vol. 99, no. 7, pp. 2451–2464, 2022. doi:10.1021/acs.jchemed.2c00034
- [9] L. Ruiz-Cantisani, V. Lima, and L. Sagüi, “Practical applications of virtual reality in continuing education,” *International Journal of Graduate School Research*, 2020. [Online]. Available: <https://journal.multitechpublisher.com/index.php/ijgsr/article/download/1610/1725/6663>
- [10] A. Azmi et al., “Potensi pemanfaatan virtual reality sebagai media pembelajaran inovatif untuk meningkatkan minat belajar dan keterlibatan siswa,” *Jurnal Dimensi Pendidikan dan Pembelajaran*, 2024.
- [11] J. S. Akbar and D. Djakariah, “Transformasi pembelajaran kimia melalui pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) pada era Society 5.0,” *Edudikara: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol. 9, no. 1, pp. 19–26, 2024. doi:10.32585/edudikara.v9i1.355
- [12] E. S. W. Taruklimbong and R. M. Sihotang, “Peluang dan tantangan penggunaan AI (Artificial Intelligence) dalam pembelajaran kimia,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 26745–26757, Sep. 2023. [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/11167>

- [13] A. Febriana, “Pengembangan media pembelajaran berbasis virtual reality pada materi bentuk molekul untuk peserta didik kelas X SMA,” Universitas Negeri Malang, 2021. [Online]. Available: <https://repository.um.ac.id/143393/>
- [14] R. Maydiantoro, “Pengembangan media pembelajaran di MI/SD menggunakan model Borg and Gall yang dimodifikasi,” Cahaya: Journal of Research on Science Education, vol. 2, no. 1, 2021.
- [15] Janna, N.M., et al. *Concept of Validity and Reliability Testing Using SPSS*. 2021.