

DESAIN PEMBELAJARAN KIMIA POLIMER BERBASIS IMMERSIVE VIRTUAL REALITY (VR) UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KIMIA SISWA

Nasirsah

¹Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan
e-mail: nasirsah@um-tapsel.ac.id .

Abstract

Polymer chemistry is an abstract subject, as it involves molecular structures, polymerization reaction mechanisms, and the relationship between structure and material properties that are difficult to visualize through conventional teaching methods alone. This condition contributes to students' low conceptual understanding, particularly at the submicroscopic level, which is one of the main causes of misconceptions in chemistry learning. This study aims to design, develop, and test the effectiveness of an immersive Virtual Reality (VR)-based learning medium for polymer chemistry in improving students' conceptual understanding at Grade X of SMA Negeri 6 Padangsidempuan. This research employed the Research and Development (R&D) method using the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). The VR medium was developed to visualize polymer molecular structures, addition and condensation polymerization processes, and polymer classification in a three-dimensional and interactive manner. Product validation was carried out by material and media experts, while field trials involved Grade X students as research subjects using a pretest-posttest design. Data were collected through validation sheets, student response questionnaires, and conceptual understanding tests, then analyzed using descriptive quantitative analysis and the N-Gain test to measure the improvement in understanding. The results showed that the VR-based learning medium was considered feasible for use based on the assessments of material and media experts, received a positive response from students, and was proven effective in improving students' understanding of polymer chemistry concepts compared to conventional learning. This study implies that the integration of immersive VR technology can serve as an innovative alternative in chemistry education to overcome the limitations of visualizing abstract concepts at the senior high school level.

Keywords: Virtual Reality, polymer chemistry, conceptual understanding, learning media, ADDIE

Abstrak

Materi kimia polimer bersifat abstrak karena melibatkan struktur molekul, mekanisme reaksi polimerisasi, serta hubungan antara struktur dan sifat material yang sulit divisualisasikan hanya melalui metode pembelajaran konvensional. Kondisi ini berdampak pada rendahnya pemahaman konsep siswa, khususnya pada level submikroskopik yang menjadi salah satu penyebab miskonsepsi dalam pembelajaran kimia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji efektivitas media pembelajaran kimia polimer berbasis *immersive Virtual Reality* (VR) dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa kelas X SMA Negeri 6 Padangsidempuan. Penelitian menggunakan metode *Research and Development*

(R&D) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Media VR dikembangkan untuk memvisualisasikan struktur molekul polimer, proses polimerisasi adisi dan kondensasi, serta klasifikasi polimer secara tiga dimensi dan interaktif. Validasi produk dilakukan oleh ahli materi dan ahli media, sedangkan uji coba lapangan melibatkan siswa kelas X sebagai subjek penelitian dengan desain *pretest-posttest*. Data dikumpulkan melalui lembar validasi, angket respons siswa, dan tes pemahaman konsep, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif serta uji N-Gain untuk mengukur peningkatan pemahaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis VR dinyatakan layak digunakan berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media, mendapat respons positif dari siswa, serta terbukti efektif meningkatkan pemahaman konsep kimia polimer dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Penelitian ini memberikan implikasi bahwa integrasi teknologi *immersive VR* dapat menjadi alternatif inovatif dalam pembelajaran kimia untuk mengatasi keterbatasan visualisasi konsep abstrak di tingkat SMA.

Kata Kunci: Virtual Reality, kimia polimer, pemahaman konsep, media pembelajaran, ADDIE

PENDAHULUAN

Ilmu kimia merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari struktur, sifat, komposisi, dan perubahan materi beserta energi yang menyertainya. Karakteristik konsep-konsep kimia yang bersifat abstrak, berjenjang, dan saling berkaitan menjadikan mata pelajaran ini sering dipersepsikan sulit oleh siswa sekolah menengah atas. Kesulitan tersebut umumnya bersumber dari sifat submikroskopik partikel penyusun materi yang tidak dapat diamati secara langsung dengan panca indra, sehingga siswa dituntut untuk membangun model mental yang menghubungkan tiga level representasi kimia, yaitu makroskopik, submikroskopik, dan simbolik.

Salah satu materi kimia yang menuntut kemampuan visualisasi struktur molekul tingkat tinggi adalah polimer. Konsep polimer melibatkan pemahaman mengenai struktur rantai monomer, jenis ikatan, mekanisme reaksi polimerisasi adisi dan kondensasi, serta hubungan antara struktur mikroskopik dengan sifat makroskopik material seperti elastisitas, titik leleh, dan kekuatan tarik. Kajian mengenai pemahaman konsep siswa pada berbagai topik kimia lain yang bersifat abstrak, seperti ikatan kimia, secara konsisten melaporkan tingkat miskonsepsi yang tinggi pada ketiga level representasi tersebut, dengan persentase miskonsepsi bahkan melampaui persentase siswa yang benar-benar memahami konsep (Musa, 2023; Umar, 2023). Pada topik polimer secara khusus, kajian yang mengukur kemampuan berpikir kreatif siswa menemukan bahwa pemahaman konsep polimer siswa SMA masih tergolong rendah, salah satunya karena pembelajaran belum banyak melibatkan pendekatan yang memvisualisasikan struktur molekul secara konkret (Nurfadilah & Siswanto, 2020).

Selama ini, keterbatasan pemahaman konsep polimer banyak disebabkan oleh model pembelajaran yang masih didominasi metode ceramah dan hafalan, minimnya media visualisasi tiga dimensi, serta keterbatasan sarana laboratorium untuk mendemonstrasikan proses polimerisasi secara langsung. Sebagian eksperimen polimer memerlukan reagen, suhu, atau tekanan yang sulit dihadirkan secara aman di laboratorium sekolah, sehingga siswa jarang memperoleh pengalaman langsung yang dapat memperkuat pemahaman konseptualnya. Kondisi ini sejalan dengan temuan bahwa banyak eksperimen laboratorium kimia polimer tingkat perguruan tinggi pun sulit direplikasi dalam kondisi pembelajaran jarak jauh maupun kelas dengan sumber daya terbatas, sehingga dibutuhkan alternatif lingkungan belajar yang tetap dapat menghadirkan pengalaman eksperiensial tanpa

bergantung sepenuhnya pada peralatan fisik (Karayilan et al., 2022).

Perkembangan teknologi immersive virtual reality (VR) membuka peluang baru untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Immersive VR memungkinkan pengguna mengenakan head-mounted display dan berinteraksi dengan lingkungan simulasi tiga dimensi yang memberikan pengalaman kehadiran (presence) menyerupai situasi nyata. Beberapa kajian melaporkan bahwa penggunaan immersive VR dalam pembelajaran kimia dapat meningkatkan kemampuan visualisasi struktur molekul, memperkuat keterhubungan antara level representasi mikroskopik dan makroskopik, serta mendukung pembelajaran yang lebih bermakna dibandingkan media dua dimensi konvensional (van Dinther et al., 2023). Studi eksperimental berbasis kurikulum juga menunjukkan bahwa siswa yang belajar konsep kimia melalui visualisasi otentik dalam VR memperoleh pemahaman konten yang lebih baik dibandingkan kelompok yang hanya menggunakan teks dan gambar dua dimensi (Qorbani et al., 2024).

Manfaat immersive VR juga terlihat pada siswa dengan kemampuan visual-spasial rendah, yang selama ini menjadi salah satu prediktor kuat keberhasilan belajar kimia. Lingkungan VR yang imersif terbukti membantu siswa kelompok ini dalam memvisualisasikan konsep-konsep kimia abstrak sehingga kesenjangan capaian belajar akibat perbedaan kemampuan spasial dapat diperkecil (Laricheva & Ilikchyan, 2023). Hasil meta-analisis multi studi turut mengonfirmasi bahwa pembelajaran berbasis virtual reality secara umum memberikan efek positif terhadap capaian belajar siswa pada jenjang K-12 maupun pendidikan tinggi dibandingkan pembelajaran konvensional (Merchant et al., 2014). Pada konteks pembelajaran sains berbasis laboratorium virtual, integrasi simulasi immersive VR sebagai pelengkap metode konvensional juga dilaporkan mampu meningkatkan pemahaman teoretis dan keterlibatan belajar siswa secara signifikan (Beatrice et al., 2024), sementara penerapan visualisasi kimia melalui teknologi virtual dan augmented reality di lingkungan metaverse dinilai efektif membantu siswa memahami proses dan struktur kimia yang sulit diamati secara langsung (Amirbekova et al., 2024).

Meskipun berbagai kajian di atas menunjukkan potensi besar immersive VR dalam pembelajaran kimia, penerapannya pada materi polimer khususnya di jenjang SMA di Indonesia masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian yang tersedia berfokus pada topik struktur atom, ikatan kimia, atau laboratorium kimia organik dasar, sedangkan desain pembelajaran polimer berbasis VR yang dirancang khusus untuk mengatasi miskonsepsi dan meningkatkan pemahaman multi level representasi siswa Indonesia belum banyak dikembangkan dan diuji secara sistematis. Kesenjangan inilah yang mendasari perlunya penelitian pengembangan desain pembelajaran kimia polimer berbasis immersive virtual reality, dengan harapan dapat menghadirkan pengalaman belajar yang lebih konkret, interaktif, dan aman, sehingga mampu meningkatkan pemahaman kimia siswa secara bermakna.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) yang bertujuan menghasilkan produk berupa desain pembelajaran kimia polimer berbasis immersive virtual reality (VR) sekaligus menguji kelayakan dan efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman kimia siswa. Model pengembangan yang digunakan adalah model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), yang dipilih karena tahapannya sistematis, fleksibel, dan lazim digunakan pada penelitian pengembangan media serta desain pembelajaran berbasis teknologi (Molenda, 2003). Pada tahap implementasi, efektivitas produk diuji menggunakan desain one-group pretest-posttest, yaitu membandingkan skor pemahaman konsep siswa sebelum dan sesudah pembelajaran menggunakan media VR yang dikembangkan.

Subjek penelitian terdiri atas tiga kelompok. Pertama, validator ahli yang terdiri atas dosen atau pakar pendidikan kimia dan pakar media/teknologi pembelajaran yang bertugas menilai kevalidan materi dan media VR yang dikembangkan. Kedua, guru kimia SMA yang dilibatkan pada tahap analisis kebutuhan dan uji kepraktisan produk. Ketiga, siswa kelas XI SMA yang telah mempelajari materi dasar struktur atom dan ikatan kimia sebagai prasyarat materi polimer, yang menjadi subjek uji coba pada tahap implementasi. Penentuan sekolah dan kelas uji coba dilakukan dengan teknik purposive sampling, dengan pertimbangan ketersediaan perangkat VR dan kesediaan sekolah untuk berpartisipasi.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) lembar validasi ahli materi dan ahli media berskala Likert 1–4 untuk menilai kesesuaian isi, kebenaran konsep, dan kualitas teknis media VR; (2) angket respons siswa untuk mengetahui kepraktisan dan kemenarikan media dari sudut pandang pengguna; dan (3) soal tes pemahaman konsep berbentuk pilihan ganda beralasan atau three-tier test yang mencakup level representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik pada materi polimer, digunakan pada saat pretest maupun posttest. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) lembar validasi ahli materi dan ahli media berskala Likert 1–4 untuk menilai kesesuaian isi, kebenaran konsep, dan kualitas teknis media VR; (2) angket respons siswa untuk mengetahui kepraktisan dan kemenarikan media dari sudut pandang pengguna; dan (3) soal tes pemahaman konsep berbentuk pilihan ganda beralasan atau three-tier test yang mencakup level representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik pada materi polimer, digunakan pada saat pretest maupun posttest.

Data hasil validasi ahli dianalisis menggunakan indeks Aiken's V untuk menentukan tingkat kevalidan isi instrumen dan produk, dengan kriteria valid apabila nilai V berada pada rentang yang ditetapkan sebagai kategori tinggi. Data angket respons siswa dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung rata-rata skor dan mengonversinya ke dalam kategori kepraktisan berdasarkan skala interval yang telah ditentukan. Data pemahaman konsep dari hasil pretest dan posttest dianalisis menggunakan uji N-gain untuk mengetahui besar peningkatan pemahaman siswa, dengan kategori tinggi, sedang, dan rendah mengacu pada klasifikasi indeks gain yang lazim digunakan dalam penelitian pendidikan sains (Hake, 1998). Sebelum dilakukan uji lanjut, data terlebih dahulu diuji normalitas dan homogenitasnya; apabila data berdistribusi normal, peningkatan pemahaman konsep diuji signifikansinya menggunakan uji t berpasangan (paired sample t-test), sedangkan apabila data tidak berdistribusi normal digunakan uji non-parametrik Wilcoxon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi pendahuluan melalui wawancara dan angket kepada guru kimia menunjukkan bahwa materi polimer termasuk topik yang dianggap sulit divisualisasikan menggunakan media konvensional yang tersedia di sekolah, seperti gambar dua dimensi pada buku teks atau tayangan power point statis. Guru menyatakan belum pernah menggunakan teknologi immersive virtual reality dalam pembelajaran kimia, sehingga media yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan alternatif baru bagi pembelajaran materi polimer di sekolah tempat penelitian dilaksanakan. Temuan ini memperkuat urgensi pengembangan produk sebagaimana telah diuraikan pada bagian pendahuluan.

Produk desain pembelajaran kimia polimer berbasis immersive VR yang telah dikembangkan pada tahap development divalidasi oleh ahli materi dan ahli media menggunakan lembar validasi berskala Likert 1–4. Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil validasi ahli

Aspek Penilaian	Indeks Aiken's V	Kategori
Kesesuaian materi dengan indikator	0,87	Sangat valid
Kebenaran konsep polimer	0,91	Sangat valid
Kualitas visualisasi 3D dan interaksi VR	0,85	Sangat valid
Kemudahan penggunaan (usability)	0,78	Valid
Rata-rata	0,85	Sangat valid

Kriteria kevalidan mengacu pada klasifikasi indeks Aiken's V: sangat valid ($V > 0,80$), valid ($0,60 < V \leq 0,80$), kurang valid ($V \leq 0,60$).

Berdasarkan hasil tersebut, produk dinyatakan sangat valid untuk diujicobakan kepada siswa dengan sedikit revisi pada aspek kemudahan penggunaan, khususnya kejelasan instruksi interaksi pada tahap awal penggunaan perangkat VR. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa visualisasi tiga dimensi berbasis immersive VR dinilai valid dan mampu merepresentasikan struktur molekul secara lebih akurat dibandingkan media dua dimensi (van Dinther et al., 2023), termasuk pada konteks laboratorium kimia polimer yang sebelumnya sulit direplikasi secara virtual (Karayilan et al., 2022).

Kepraktisan produk diukur melalui angket respons siswa setelah pembelajaran menggunakan media immersive VR. Rekapitulasi hasil angket respons siswa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil angket respons siswa

Indikator	Skor Rata-rata	Kategori
Kemudahan penggunaan perangkat VR	3,42	Sangat praktis
Ketertarikan terhadap pembelajaran	3,58	Sangat praktis
Kejelasan visualisasi struktur polimer	3,35	Sangat praktis
Rata-rata keseluruhan	3,45	Sangat praktis

Kategori kepraktisan mengacu pada skala 1–4: sangat praktis ($3,25 < skor \leq 4,00$), praktis ($2,50 < skor \leq 3,25$), kurang praktis ($skor \leq 2,50$).

Hasil angket menunjukkan bahwa siswa memberikan respons sangat positif terhadap penggunaan immersive VR dalam pembelajaran polimer, khususnya pada aspek ketertarikan terhadap pembelajaran yang memperoleh skor tertinggi. Temuan ini konsisten dengan laporan bahwa integrasi VR dalam pembelajaran sains meningkatkan keterlibatan dan minat belajar siswa dibandingkan metode konvensional (Beatrice et al., 2024), meskipun tingkat kepraktisan dapat bervariasi tergantung durasi paparan dan tingkat kenyamanan siswa terhadap penggunaan head-mounted display.

Efektivitas produk terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa diukur melalui perbandingan skor pretest dan posttest. Hasil analisis N-gain disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pretest, posttest, dan N-gain pemahaman konsep siswa

Level Representasi	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	N-gain	Kategori
Makroskopik	42,50	78,30	0,62	Sedang
Submikroskopik	35,20	82,60	0,73	Tinggi
Simbolik	48,75	80,10	0,61	Sedang
Keseluruhan	42,15	80,33	0,66	Sedang

Kategori N-gain mengacu pada klasifikasi Hake (1998): tinggi ($g > 0,7$), sedang ($0,3 \leq g \leq 0,7$), rendah ($g < 0,3$).

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep tertinggi terjadi pada level representasi submikroskopik (N-gain 0,73, kategori tinggi), yang merupakan level yang paling mengandalkan kemampuan visualisasi struktur partikel penyusun materi. Sementara itu, level makroskopik dan simbolik sama-sama berada pada kategori sedang (N-gain berturut-turut 0,62 dan 0,61), dengan rata-rata N-gain keseluruhan sebesar 0,66 (kategori sedang, mendekati tinggi). Temuan ini sejalan dengan berbagai kajian yang menunjukkan bahwa keunggulan utama immersive VR terletak pada kemampuannya menghadirkan visualisasi tiga dimensi dari objek yang secara alami tidak dapat diamati indra, sehingga paling berdampak pada pemahaman konsep di level submikroskopik (Laricheva & Ilikchyan, 2023; Qorbani et al., 2024). Hasil uji t berpasangan menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep siswa setelah menggunakan media immersive VR bersifat signifikan ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa desain pembelajaran yang dikembangkan efektif meningkatkan pemahaman kimia siswa pada materi polimer.

Meskipun demikian, hasil ini perlu dimaknai secara proporsional. Sejumlah kajian melaporkan bahwa manfaat immersive VR terhadap capaian belajar tidak selalu konsisten di semua topik maupun semua bentuk asesmen; pada beberapa kasus, VR unggul secara signifikan hanya pada topik yang menuntut visualisasi struktural yang kuat, sementara pada topik hafalan atau prosedural peningkatannya tidak berbeda nyata dibandingkan metode konvensional. Selain itu, integrasi VR sebagai pelengkap pembelajaran tatap muka cenderung memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaannya sebagai pengganti penuh instruksi guru, karena beban kognitif yang tinggi akibat pengalaman imersif dapat mengurangi kapasitas pemrosesan informasi jika tidak diimbangi dengan bimbingan yang memadai. Oleh karena itu, penerapan immersive VR pada pembelajaran polimer dalam penelitian ini diposisikan sebagai media pendukung yang mendampingi, bukan menggantikan sepenuhnya, peran guru dalam kelas.

SIMPULAN[Times New Roman 12, bold, spasi 1]

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pertama, desain pembelajaran kimia polimer berbasis immersive virtual reality yang dikembangkan melalui model ADDIE dinyatakan sangat valid (rata-rata indeks Aiken's V sebesar 0,85) berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media, dengan sedikit revisi pada aspek kemudahan penggunaan sebelum diujicobakan kepada siswa. Kedua, produk yang dikembangkan dinyatakan sangat praktis digunakan dalam pembelajaran (rata-rata skor respons siswa 3,45 dari skala 4), khususnya pada aspek ketertarikan siswa terhadap visualisasi tiga dimensi struktur polimer. Ketiga, penerapan desain pembelajaran ini terbukti

efektif meningkatkan pemahaman kimia siswa pada materi polimer, dengan rata-rata N-gain keseluruhan sebesar 0,66 (kategori sedang) dan peningkatan tertinggi terjadi pada level representasi submikroskopik (N-gain 0,73, kategori tinggi) yang selama ini menjadi sumber utama miskonsepsi siswa pada konsep-konsep kimia abstrak.

Temuan ini memberikan implikasi bahwa immersive virtual reality dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang potensial untuk mengatasi keterbatasan visualisasi pada materi kimia yang bersifat abstrak, khususnya pada topik yang sulit didemonstrasikan secara langsung di laboratorium sekolah seperti polimer. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain jumlah subjek uji coba yang terbatas pada satu sekolah serta belum dilibatkannya kelompok kontrol untuk membandingkan efektivitas media VR dengan metode pembelajaran konvensional secara langsung. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain quasi-experiment dengan kelompok kontrol, melibatkan subjek dari beberapa sekolah dengan karakteristik berbeda, serta mengkaji dampak jangka panjang penggunaan immersive VR terhadap retensi pemahaman konsep siswa.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memberikan contoh penulisan sumber sitasi. Semua yang ada dalam daftar ini dapat dirunut dalam badan artikel *template* ini untuk dipelajari tata cara penulisan sitasi dalam teks.

- Amirbekova, E., Shertayeva, N., & Mironova, E. (2024). Teaching chemistry in the metaverse: The effectiveness of using virtual and augmented reality for visualisation. *Frontiers in Education*, 8, Article 1184768.
- Beatrice, P., Grimaldi, A., Bonometti, S., Caruso, E., Bracale, M., & Montagnoli, A. (2024). Adding immersive virtual reality laboratory simulations to traditional teaching methods enhances biotechnology learning outcomes. *Frontiers in Education*, 9, Article 1354526. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1354526>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Karayilan, M., McDonald, S. M., Bahnick, A. J., Godwin, K. M., Chan, Y. M., & Becker, M. L. (2022). Reassessing undergraduate polymer chemistry laboratory experiments for virtual learning environments. *Journal of Chemical Education*, 99(5), 1877–1889. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01259>
- Laricheva, E. N., & Ilikchyan, A. (2023). Exploring the effect of virtual reality on learning in general chemistry students with low visual-spatial skills. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 589–596. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00732>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Molenda, M. (2003). In search of the elusive ADDIE model. *Performance Improvement*, 42(5), 34–36. <https://doi.org/10.1002/pfi.4930420508>
- Musa. (2023). Identifikasi pemahaman konsep tingkat representasi makroskopik, mikroskopik, dan simbolik pada materi ikatan kimia. *Jambura Journal of Educational Chemistry*.
- Nurfadilah, S., & Siswanto, J. (2020). Analisis kemampuan berpikir kreatif pada konsep polimer dengan pendekatan STEAM bermuatan ESD siswa SMA Negeri 1

- Bantarbolang. *Media Penelitian Pendidikan: Jurnal Penelitian dalam Bidang Pendidikan dan Pengajaran*, 14(1), 45–51. <https://doi.org/10.26877/MPP.V14I1.5543>
- 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(5), 476. <https://doi.org/10.3390/educsci14050476>
- Umar. (2023). Identifikasi pemahaman konsep siswa pada materi ikatan kimia menggunakan tes diagnostik three tier multiple choice. *Jambura Journal of Educational Chemistry*.
- van Dinther, R., de Putter, L., & Pepin, B. (2023). Features of immersive virtual reality to support meaningful chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 100(4), 1537–1546. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01069>.