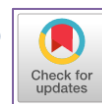


Inovasi AR pada materi redoks: Mengintegrasikan konsep kimia dengan prinsip *green chemistry*



Ramlah ^{a*}, Sitti Fatimah Ramadhani ^b, Putri Sarera Surbakti ^c, Achmad Rante Suparman ^d, Murthihapsari ^e, Muhammad Fajar Islam ^f, Yona Lesti Aling ^g

Universitas Papua. Jl. Gunung Salju, Papua Barat, 98314, Indonesia

^a ramlah@unipa.ac.id; ^b s.fatimah@unipa.ac.id; ^c p.surbaksi@unipa.ac.id; ^d achmad.unipa@gmail.com;

^e m.murthihapsari@unipa.ac.id; ^f m.fajar@unipa.ac.id; ^g 202260002@student.ac.id

* Corresponding Author

Receipt: 5 January 2026; Revision: 17 April 2026; Accepted: 21 April 2026

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji kelayakan media pembelajaran kimia berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi reaksi redoks yang diintegrasikan dengan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka *Education for Sustainable Development* (ESD). Metode yang digunakan adalah *Research and Development* dengan model pengembangan *Spiral-Waterfall* yang meliputi tahapan analisis tujuan, identifikasi risiko, perancangan, pengembangan, dan iterasi. Kelayakan media dinilai melalui uji validitas Aiken's V dan reliabilitas *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC). Hasil analisis menunjukkan tingkat validitas sangat tinggi dengan nilai Aiken's V antara 0,80–0,95 pada aspek materi, tampilan, interaktivitas, dan pedagogis. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa uji coba terbatas pada peserta didik menghasilkan tingkat kepuasan sebesar 82,35% (kategori sangat baik), meskipun nilai reliabilitas ICC berada pada kategori sedang (0,527). Disimpulkan bahwa media AR yang dikembangkan layak dan diterima dengan baik sebagai sarana visualisasi konsep redoks sekaligus efektif dalam menumbuhkan kesadaran peserta didik terhadap prinsip keberlanjutan lingkungan. Hasil ini berimplikasi pada penguatan inovasi digital dalam pendidikan kimia berbasis ESD.

Kata Kunci: *Augmented Reality*; reaksi redoks; *Green Chemistry*; ESD; media pembelajaran

AR innovation in redox materials: Integrating chemical concepts with the principles of green chemistry

Abstract: This study aims to develop and evaluate the feasibility of *Augmented Reality* (AR)-based chemistry learning media for redox reaction topics, integrated with *Green Chemistry* principles within the *Education for Sustainable Development* (ESD) framework. The research employed a *Research and Development* (R&D) approach using the *Spiral-Waterfall* model, which includes goal analysis, risk identification, design, development, and iteration phases. Media feasibility was assessed through Aiken's V validity testing and *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) reliability analysis. The results indicated very high validity, with Aiken's V scores ranging from 0.80 to 0.95 across content, visual, interactivity, and pedagogical aspects. Key findings revealed that limited field testing with students achieved an 82.35% satisfaction rate (very good category), despite an ICC reliability score in the moderate category (0.527). It is concluded that the developed AR media is feasible and well-received as a tool for visualizing redox concepts while effectively fostering students' awareness of environmental sustainability principles. These findings contribute to the advancement of digital innovation in ESD-based chemistry education.

Keywords: *Augmented Reality*; redox reactions; *Green Chemistry*; ESD; learning media

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



PENDAHULUAN

Pembelajaran abad ke-21 menuntut integrasi antara penguasaan konsep ilmiah, pemanfaatan teknologi digital, serta penguatan nilai keberlanjutan (OECD, 2019). Dalam konteks ini, pendidikan kimia bukan sekadar berfungsi menjadi sarana transfer pengetahuan, melainkan sebagai proses pengembangan kemampuan berpikir kritis serta kesadaran peserta didik kepada permasalahan lingkungan yang semakin kompleks (Bacca et al., 2020). Kimia mempunyai peran krusial untuk memudahkan peserta didik memahami fenomena alam sekaligus mengambil keputusan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan (Sudjana, 2021). Namun demikian, praktik pembelajaran kimia di sekolah masih menerapkan pendekatan konvensional yang menekankan hafalan konsep, bersifat abstrak, dan kurang mengaitkan materi dengan konteks kehidupan nyata. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pembelajaran kimia, khususnya materi redoks, belum sepenuhnya mendukung pemahaman konseptual yang mendalam.

Reaksi oksidasi dan reduksi (*redoks*) merujuk pada suatu materi yang peserta didik anggap sulit. Materi ini menuntut pemahaman pada 3 level representasi kimia, yakni simbolik, submikroskopis, serta makroskopis. Peserta didik perlu memahami perpindahan elektron, perubahan bilangan oksidasi, serta keterkaitan konsep tersebut dengan fenomena nyata (Gilbert & Treagust, 2009). Kompleksitas tersebut berpotensi menimbulkan miskonsepsi dan rendahnya pemahaman konseptual (Johnstone, 2020). Padahal, konsep redoks memiliki keterkaitan erat dengan berbagai fenomena kehidupan, seperti korosi, baterai, daur ulang logam, dan pengolahan limbah. Oleh karenanya, pembelajaran redoks perlu diarahkan bukan sekadar pada aspek prosedural, melainkan pada keterkaitannya dengan isu lingkungan dan keberlanjutan (Taber, 2013).

Dalam upaya mengaitkan pembelajaran kimia dengan keberlanjutan, pendekatan *Green Chemistry* menjadi landasan yang relevan (Eilks, 2015). Pendekatan ini menekankan perancangan proses dan produk kimia yang lebih aman, efisien, serta meminimalkan pembentukan zat berbahaya (Anastas & Eghbali, 2010). Namun, implementasi prinsip *Green Chemistry* dalam pembelajaran kimia di sekolah masih terbatas sehingga pemahaman peserta didik mengenai kimia ramah lingkungan tidak berkembang dengan optimal (Putra, 2024). Hal ini menunjukkan perlunya media pembelajaran yang mampu menghadirkan konsep kimia secara kontekstual sekaligus menanamkan nilai keberlanjutan.

Pemanfaatan teknologi digital dapat menjadi alternatif solusi (Sirakaya & Sirakaya, 2018). Salah satu teknologi yang berpotensi mendukung pembelajaran kimia adalah AR, yang menjadikan objek virtual 3D diintegrasikan dengan lingkungan secara nyata dengan interaktif (Ibanez & Delgado-Kloos, 2018). Dalam pembelajaran kimia, AR dapat memvisualisasikan proses reaksi, struktur molekul, dan perpindahan elektron yang mana nantinya konsep abstrak jadi lebih mudah dimengerti (Radianti & others, 2020). Penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwasanya media berbasis AR bisa menaikkan tingkat keterlibatan, motivasi, serta pemahaman konsep peserta (Suparman et al., 2025). Meskipun demikian, pengembangan AR dalam pembelajaran kimia umumnya masih berfokus pada visualisasi konsep dan belum mengintegrasikan isu keberlanjutan secara eksplisit.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, *Education for Sustainable Development* (ESD) menjadi kerangka penting dalam pendidikan modern. ESD menekankan pengembangan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan nilai yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi (Rieckmann, 2017). Integrasi ESD dalam pembelajaran

kimia memungkinkan peserta didik memahami dampak penerapan kimia terhadap kehidupan secara lebih komprehensif (Burmeister et al., 2012). Oleh karena itu, integrasi teknologi AR, materi redoks, prinsip *Green Chemistry*, dan kerangka ESD menjadi relevan untuk dikembangkan dalam pembelajaran kimia.

Kajian literatur menunjukkan beberapa kesenjangan penelitian. Pertama, sebagian besar media AR dalam pembelajaran kimia masih berfokus pada visualisasi konsep tanpa integrasi prinsip *Green Chemistry*. Kedua, keterkaitan antara media AR dan kerangka ESD masih jarang dilaporkan. Ketiga, pemanfaatan platform *Assemblr Edu* dalam pengembangan media AR pada materi redoks masih terbatas. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang mengintegrasikan keempat aspek tersebut secara komprehensif (Burmeister et al., 2012).

Merujuk dari latar belakang, penelitian ini mempunyai tujuan guna mengembangkan media pembelajaran kimia berbasis AR dengan mempergunakan aplikasi *Assemblr Edu* pada materi reaksi redoks. Media yang dikembangkan dirancang guna memudahkan peserta didik untuk memahami konsep redoks secara visual serta interaktif sekaligus menumbuhkan kesadaran terhadap penerapan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka *Education for Sustainable Development*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Augmented Reality* berbasis *Assemblr Edu* pada materi redoks yang dipadukan dengan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka *Education for Sustainable Development (ESD)*. Penelitian ini bukan sekadar berfokus kepada visualisasi konsep, melainkan pada penguatan pemahaman konseptual serta penanaman nilai keberlanjutan.

METODE

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menerapkan penelitian dan pengembangan (*R&D*) yang mempunyai tujuan guna menghasilkan serta menguji kelayakan media pembelajaran kimia berbasis AR (*Augmented Reality*) dalam materi reaksi redoks yang terintegrasi dengan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka *Education for Sustainable Development* (UNESCO, 2017). Pendekatan *mixed methods* diterapkan pada penelitian ini, yaitu menyatukan metode kuantitatif serta kualitatif secara komplementer (Creswell & Plano Clark, 2011). Pendekatan kualitatif dilakukan pada tahapan analisis perancangan, kebutuhan, pengembangan produk, serta validasi ahli untuk memperoleh masukan secara mendalam terhadap kualitas media yang dikembangkan (Sugiyono, 2019).

Data kualitatif diperoleh melalui wawancara, lembar saran validator, serta komentar pengguna pada tahap uji coba (Creswell & Poth, 2018). Analisis data kualitatif dilaksanakan melalui beberapa tahapan di antaranya reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dalam mengidentifikasi kebutuhan pengguna, kelemahan produk, serta rekomendasi perbaikan media yang dikembangkan (Miles et al., 2014). Hasil analisis kualitatif digunakan sebagai dasar revisi produk pada setiap tahap pengembangan. Pendekatan kuantitatif digunakan pada tahap evaluasi untuk mengukur tingkat kelayakan media dan respons pengguna terhadap produk yang dihasilkan.

Data kuantitatif diperoleh melalui angket validasi ahli, uji reliabilitas antar-penilai, serta angket respons peserta didik terhadap penggunaan media. Analisis kuantitatif dilakukan dengan menghitung skor persentase kelayakan dan tingkat kepuasan pengguna untuk menentukan kualitas media pembelajaran yang dikembangkan (Creswell, 2014). Proses pengembangan media mengacu pada tahapan menentukan tujuan,

mengidentifikasi dan mengatasi risiko, perancangan, pengembangan serta perencanaan iterasi berikutnya yang merupakan sintesis dari model pengembangan Spiral dan Waterfall sehingga proses pengembangan berlangsung secara sistematis dan berorientasi pada penyempurnaan produk (Azwar, 2012).

Model Pengembangan

Model pengembangan penelitian ini merujuk dari model pengembangan media (Martin & Betrus, 2019), yaitu kolaborasi antara *Spiral model* dan *Waterfall model*. Integrasi kedua model ini menghasilkan empat tahapan utama, yaitu *determine objectives, identify and resolve risks, design, development and plan the next iteration*. Setiap tahap dilakukan secara sistematis dan iteratif hingga diperoleh produk yang layak digunakan.

Determine Objectives

Pada tahap ini, fokus utamanya adalah analisis kebutuhan pada tingkat Sekolah Menengah Atas pada bidang Kimia, khususnya pada materi redoks. Hasil analisis kebutuhan yang diperoleh: (1) Kebutuhan Kurikulum; (2) Kebutuhan Peserta Didik; (3) Kebutuhan Guru; dan (4) Kebutuhan Sarana dan Prasarana

Identify And Resolve Risks

Pada tahap ini peneliti berfokus untuk menemukan potensi masalah dan menyiapkan solusi agar tujuan pembelajaran menggunakan media pembelajaran *Augmented Reality* tetap tercapai. Berikut ini beberapa masalah dan solusi yang ada pada penelitian ini, yaitu (1) Risiko Teknis; (2) Risiko Pedagogis; dan (3) Risiko Implementasi di Kelas

Design

Pada tahap ini peneliti fokus merancang konsep, alur, dan tampilan AR pada metro Redoks sebelum masuk ke tahap produksi, yaitu (1) Perumusan Tujuan Pembelajaran; (2) Pemilihan Teknologi dan pembuatan *Story Board*; dan (3) Pembuatan Media Pembelajaran menggunakan *Assemblr Edu*

Development

Tahapan ini yaitu rancangan awal dari media pembelajaran yang sudah dibuat ditahapan *design* diimplementasikan menjadi produk nyata, kemudian divalidasi oleh para ahli untuk menilai kelayakannya. Media pembelajaran ini divalidasi oleh 5 ahli yaitu: ahli kimia, media, ahli pendidikan serta praktisi.

Plan the Next Iteration

Tahap *plan the next iteration* bertujuan merumuskan perbaikan dan pengembangan lanjutan media pembelajaran *Augmented Reality* (AR) berdasarkan hasil uji kelayakan, reliabilitas penilai, serta respon pengguna. Tahap ini menegaskan bahwa pengembangan media bersifat siklik dan berkelanjutan sehingga produk dapat terus disempurnakan.

Teknik Pengumpulan Data

Lembar validasi instrumen diberikan kepada 5 orang validator untuk menilai kelayakan produk media yang dikembangkan. Setelah dinyatakan valid oleh para ahli, pengumpulan data dilanjutkan melalui wawancara pengguna, observasi langsung, dan

pengisian angket tingkat kepuasan oleh peserta didik SMAS Advent Manokwari. Subjek uji coba media adalah peserta kelas XII SMAS Advent Manokwari sebanyak 17 peserta yang dipilih dengan *purposive sampling*, yakni sampel dipilih secara sengaja merujuk dari pertimbangan bahwa peserta telah mempelajari materi reaksi redoks sehingga relevan untuk menguji media pembelajaran yang dikembangkan. Adapun kriteria validator pada penelitian ini meliputi: (1) Ahli materi: guru/dosen kimia yang berkompetensi pada bidang kimia, khususnya materi reaksi redoks dan *Green Chemistry*; (2) Ahli media: dosen/praktisi yang berkompetensi di bidang teknologi pendidikan maupun pengembangan media AR; dan (3) Ahli pembelajaran: dosen/guru yang berpengalaman dalam desain pembelajaran dan implementasi kurikulum.

Teknik Analisis Data

Hasil validasi ahli di analisis dengan mempergunakan formula V aiken dan tingkat reliabilitasnya menggunakan *intraclass correlation coefficients* (ICC).

Analisis Validitas Menggunakan Aiken's V

Rumus Aiken's V dimanfaatkan untuk menentukan sejauh mana validator memberikan kesepakatan bahwa setiap item dalam instrumen relevan dan layak.

Tabel 1. Interpretasi Nilai Aiken's V (Retnawati, 2016)

Nilai Aiken's V	Interpretasi
0.00–0.33	Tidak valid
0.34–0.67	Cukup valid
0.68–1.00	Sangat valid

Analisis Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

Analisis *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) adalah ukuran tingkat kesepakatan atau konsistensi antar penilai (*rater*) terhadap suatu objek yang sama (Koo & Li, 2016).

Tabel 2. Interpretasi Nilai ICC (Al-Seadi et al., 2021)

Rentang Nilai ICC	Kategori Reliabilitas
< 0.50	Buruk (<i>Poor</i>)
0.50 – 0.75	Sedang (<i>Moderate</i>)
0.75 – 0.90	Baik (<i>Good</i>)
> 0.90	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)

Analisis Kepuasan Pengguna

Analisis kepuasan pengguna dilaksanakan karena bertujuan guna mengetahui sejauh mana media pembelajaran yang sudah dikembangkan telah memenuhi kebutuhan, harapan, pengalaman belajar, serta tingkat penerimaan pengguna terhadap produk tersebut. Berikut rumus analisis kepuasan pengguna:

$$\text{Persentase Kepuasan (\%)} = \frac{\text{Skor Perolehan}}{\text{Skor Maksimal}} \times 100\% \dots\dots\dots 1]$$

$$\text{Skor Maksimal} = \text{Jumlah Responden} \times \text{Jumlah Item} \times \text{Skor Maksimum (5)} \dots\dots\dots 2]$$

Tabel 3. Interpretasi Nilai ICC (Sugiyono, 2016)

Rentang Persentase	Kategori
0–20%	Sangat Rendah
21–40%	Rendah
41–60%	Cukup
61–80%	Tinggi/Baik
81–100%	Sangat Tinggi/Sangat Baik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D) yang berfokus kepada proses pengembangan serta penilaian kelayakan suatu media pembelajaran kimia. Media yang dikembangkan berbasis AR (*Augmented Reality*) pada materi reaksi redoks dan diintegrasikan dengan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka ESD (*Education for Sustainable Development*). Adapun tahapan pada pengembangan media pembelajaran berbasis AR adalah sebagai berikut:

Tahap Determine Objectives

Tahap *determine objectives* yaitu tahap awal pada model pengembangan yang mempunyai tujuan guna mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran sebagai dasar penentuan tujuan pengembangan media. Studi pendahuluan dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi pembelajaran reaksi redoks di Sekolah Menengah Atas (SMA), sehingga pengembangan media yang dihasilkan sesuai pada kebutuhan lapangan. Pengumpulan data pada tahap ini dilaksanakan dengan melalui wawancara, observasi langsung, serta penyebaran angket, yang dilaksanakan secara bertahap.

Responden dan Teknik Pemilihan

Responden pada tahap studi pendahuluan terdiri dari satu orang guru kimia Guru kimia dipilih menggunakan teknik total sampling, karena pada sekolah penelitian hanya terdapat satu guru yang menguasai mata pelajaran kimia. Guru tersebut memiliki pengalaman mengajar materi reaksi redoks sehingga dinilai mampu memberikan informasi komprehensif terkait kebutuhan pembelajaran. Sementara itu, peserta didik dilibatkan untuk memperoleh gambaran kebutuhan belajar dari sisi pengguna. Pemilihan peserta didik dilakukan menggunakan *purposive sampling*, yaitu satu kelas yang telah mempelajari materi reaksi redoks. Jumlah peserta didik yang terlibat sebanyak 17 Orang kelas XII SMAS Advent Manokwari.

Tahap dan Teknik Pengumpulan Data

Wawancara Guru Kimia

Wawancara semi-terstruktur dilakukan kepada satu guru kimia untuk menggali informasi mengenai: (1) Kendala dalam pembelajaran redoks; (2) Kebutuhan media pembelajaran inovatif; dan (3) Kesesuaian materi dengan prinsip *Green Chemistry* dan ESD

Observasi Proses Pembelajaran

Observasi dilaksanakan pada proses pembelajaran materi redoks di kelas untuk melihat secara langsung: (1) Metode pembelajaran yang digunakan; (2) Respon dan keterlibatan peserta didik; dan (3) Ketersediaan dan pemanfaatan media pembelajaran

Angket Kebutuhan Peserta Didik

Angket disebarkan ke 17 peserta didik untuk mengidentifikasi preferensi media dan kebutuhan belajar. Angket berisi pertanyaan terkait: (1) Minat terhadap penggunaan media digital interaktif; (2) Kebutuhan latihan soal dan praktikum sederhana; dan (3) Kesulitan dalam memahami konsep redoks

Tabel 4. Hasil Analisis Kebutuhan

No	Kebutuhan Kurikulum	Kebutuhan Peserta Didik	Kebutuhan Guru
1	Dibutuhkan pendekatan konsep-kontekstual agar peserta didik memahami keterkaitan redoks dengan kehidupan sehari-hari dan isu keberlanjutan	Media visual interaktif (AR/VR, simulasi laboratorium, animasi). Latihan soal bervariasi (pilihan ganda, esai, studi kasus).Praktikum sederhana dengan bahan ramah lingkungan.	Sumber belajar inovatif (modul digital, video animasi, AR/VR). Panduan praktikum redoks yang sederhana, aman, dan ramah lingkungan.

Merujuk dari temuan sebelumnya lewat wawancara bersama guru kimia, observasi pembelajaran redoks di kelas serta angket kepada peserta didik. Diperoleh temuan bahwa kesulitan utama pembelajaran redoks terletak pada aspek visualisasi proses yang bersifat abstrak khususnya perpindahan elektron dan keterkaitan antara representasi makroskopis, submikroskopis serta simbolik. Guru menyampaikan bahwa pembelajaran masih didominasi penjelasan konseptual dan latihan perhitungan, sementara ketersediaan media yang mampu memvisualisasikan proses redoks secara interaktif dan mengaitkannya dengan konteks *Green Chemistry* masih terbatas.

Hasil angket menunjukkan bahwa peserta didik mengalami kesulitan menghubungkan konsep redoks dengan fenomena sehari-hari seperti korosi, baterai, dan pengolahan limbah, serta menunjukkan kebutuhan tinggi terhadap media pembelajaran berbasis visual dan teknologi interaktif. Temuan observasi juga menunjukkan keterlibatan peserta didik yang belum optimal dikarenakan masih terbatas dari buku teks serta papan tulis.

Merujuk dari temuan tersebut, *Augmented Reality* (AR) menggunakan platform *Assemblr Edu* dipilih sebagai solusi karena mampu memvisualisasikan proses redoks dalam bentuk objek tiga dimensi interaktif, mengintegrasikan berbagai representasi kimia, serta mendukung pengaitan konsep dengan isu keberlanjutan. Dengan demikian, pengembangan media yang dilakukan berlandaskan pada kebutuhan nyata di lapangan.

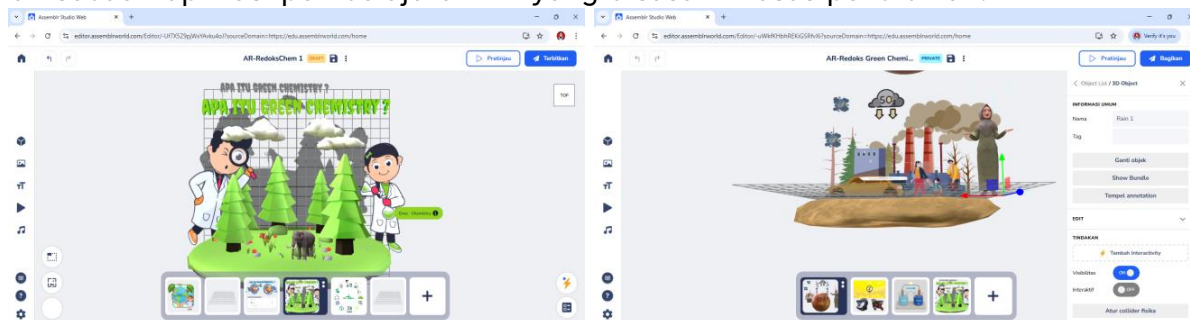
Tahap Identify and Resolve Risks

Tabel 5. Hasil Identify and Resolve Risks

No.	Jenis Risiko	Masalah yang Mungkin Terjadi	Solusi yang Direncanakan
1.	Risiko Teknis	Tidak semua peserta didik memiliki HP/laptop dengan spesifikasi memadai untuk menjalankan AR/VR.	(1) Guru menyediakan alternatif materi dalam bentuk PDF bagi peserta didik yang tidak dapat mengakses AR; (2) Menggunakan hotspot sekolah atau mengunduh materi sebelumnya agar dapat digunakan secara offline
2.	Risiko Pedagogis	(a) Peserta didik berpotensi lebih fokus pada teknologi dibandingkan isi materi. (b) Kesempatan penggunaan perangkat tidak merata.	(1) Mengintegrasikan <i>Assemblr</i> sebagai media bantu, bukan satu-satunya sumber belajar; (2) Menerapkan pembelajaran berkelompok agar semua peserta didik mendapat kesempatan menggunakan perangkat.
3.	Risiko Implementasi di Kelas	(a) Penggunaan AR dapat mengganggu alokasi waktu pembelajaran; (b) Keterampilan guru dalam penggunaan teknologi masih terbatas.	(1) Melakukan simulasi pembelajaran sebelum pelaksanaan di kelas; (2) Menyediakan panduan/tutorial langkah demi langkah; (3) Menetapkan waktu khusus (± 15 menit) untuk eksplorasi AR, kemudian kembali ke diskusi inti.

Tahap Design

Pada tahap ini peneliti fokus merancang konsep, alur, dan tampilan AR pada materi Redoks sebelum masuk ke tahap produksi (Gambar 1). Pada tahap ini peneliti menentukan rumusan tujuan pembelajaran, pembuatan *story board* dan pemilihan teknologi. Pada studi ini, teknologi AR yang digunakan adalah *Assemblr Edu*. *Assemblr EDU* adalah sebuah aplikasi pembelajaran AR yang disusun khusus pendidikan.



Gambar 1. Tahap Design pada Assemblr EDU

Development

Tahapan ini merujuk pada rancangan awal dari media pembelajaran yang sudah dibuat ditahap *design* diimplementasikan jadi produk nyata, kemudian divalidasi oleh para ahli untuk menilai kelayakannya. Media pembelajaran ini divalidasi oleh 5 ahli yaitu: ahli kimia, media, ahli pendidikan serta praktisi. Berdasarkan hasil penilaian yang diberikan oleh para ahli, selanjutnya dilakukan analisis terhadap data tersebut. Analisis dilaksanakan guna mengetahui seberapa jauh media pembelajaran memenuhi kriteria valid dan reliabel dengan menggunakan uji V Aiken dan ICC.

Plan the Next Iteration

Tahap ini menegaskan bahwa pengembangan media bersifat siklik dan berkelanjutan sehingga produk dapat terus disempurnakan. Merujuk dari validasi ahli serta uji coba terbatas, beberapa aspek yang direncanakan untuk pengembangan pada iterasi berikutnya meliputi:

Penyempurnaan Konten dan Visualisasi AR

Hasil masukan validator menunjukkan perlunya penambahan variasi contoh reaksi redoks kontekstual yang lebih beragam, khususnya yang berkaitan dengan penerapan *Green Chemistry* dalam kehidupan sehari-hari. Pada iterasi selanjutnya direncanakan penambahan skenario visualisasi seperti proses korosi lanjutan, sistem baterai, dan proses daur ulang logam.

Penguatan Interaktivitas dan Fitur Evaluasi

Respon peserta didik menunjukkan ketertarikan tinggi terhadap media, namun diperlukan peningkatan fitur interaktif berupa penambahan kuis adaptif, umpan balik otomatis, dan variasi soal berbasis konteks keberlanjutan. Hal ini bertujuan meningkatkan keterlibatan peserta didik serta mendukung pengukuran pemahaman konseptual secara lebih komprehensif.

Uji Coba Skala Lebih Luas

Penelitian ini masih terbatas pada uji coba skala kecil. Oleh karena itu, pada iterasi selanjutnya direncanakan implementasi pada skala yang lebih luas dengan melibatkan

beberapa sekolah dan jumlah peserta didik yang lebih besar guna menguji efektivitas media terhadap peningkatan hasil belajar.

Pengembangan Panduan Penggunaan bagi Guru

Untuk mendukung keberlanjutan implementasi, pada iterasi berikutnya akan dikembangkan panduan penggunaan media bagi guru yang memuat skenario pembelajaran, integrasi dengan kurikulum, serta strategi penerapan prinsip *Green Chemistry* dan ESD dalam kegiatan pembelajaran.

Pembahasan

Analisis Validitas Menggunakan Aiken's V

Uji validitas pada penelitian ini dilakukan guna mengetahui tingkat kesesuaian dan kelayakan media *Augmented Reality* (AR) yang dikembangkan, ditinjau dari berbagai aspek penilaian oleh para ahli. Penilaian tersebut meliputi aspek kelayakan isi atau materi, kualitas media AR, keterpaduan dengan pembelajaran berbasis ESD, serta aspek teknis penggunaan media. Tingkat kesepakatan antarvalidator dianalisis menggunakan koefisien Aiken's V (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil Uji Validitas

Aspek	Nilai Aiken's V Rata-rata	Kategori
Kelayakan Isi/Materi	0.86	Sangat Valid
Kelayakan Media AR	0.85	Sangat Valid
Pembelajaran ESD	0.90	Sangat Valid
Kelayakan Teknis	0.97	Sangat Valid
Rata-rata Keseluruhan	0.89	Sangat Valid

Merujuk hasil dari pengujian validitas mempergunakan Aiken's V yang memperlihatkan nilai pada rentang 0,85–0,97 dengan rerata 0,89 yang berkategori sangat valid. Hasil ini tidak hanya menunjukkan bahwasanya media layak digunakan, tetapi juga menegaskan bahwa desain media telah sesuai pada kebutuhan pembelajaran kimia di abad 21 yang menuntut integrasi teknologi, konteks keberlanjutan, dan pemahaman konseptual. Validitas tertinggi terdapat pada aspek teknis (0,97), yang menunjukkan bahwa media mudah digunakan, stabil, dan sesuai dengan karakteristik perangkat peserta didik. Hal ini penting karena kemudahan penggunaan merupakan faktor utama keberhasilan implementasi teknologi pembelajaran (Cheng, 2014).

Tingginya nilai validitas dapat dijelaskan oleh proses pengembangan yang berbasis analisis kebutuhan nyata di lapangan sehingga media dirancang untuk mengatasi kesulitan utama pembelajaran redoks, yaitu visualisasi proses mikroskopik dan keterkaitan konsep dengan konteks lingkungan (Garzon, 2020). Secara teoris, temuan ini selaras dengan teori representasi kimia yang menekankan pentingnya integrasi level makroskopis, submikroskopis dan simbolik agar pemahaman konsep kimia menjadi lebih utuh (Makransky & Petersen, 2021). Media AR memungkinkan ketiga representasi tersebut ditampilkan secara simultan dan interaktif, sehingga meningkatkan kesesuaian media dengan tujuan pembelajaran.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Putra (2024) yang memperoleh nilai 0,83–0,94 pada media AR kimia, serta penelitian Audina dan Muchtar (2024) yang menunjukkan validitas tinggi pada media AR redoks. Namun demikian, penelitian ini memiliki kontribusi tambahan karena tidak hanya berfokus pada visualisasi konsep, tetapi juga mengintegrasikan prinsip *Green Chemistry* dan kerangka ESD dalam desain

media. Dengan demikian, validitas tinggi yang diperoleh menunjukkan bahwa media tidak hanya layak secara pedagogis, tetapi juga relevan dengan tujuan pendidikan keberlanjutan.

Analisis Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

Tabel 6. Hasil Nilai Koefisien Reliabilitas Internal

Measures	Intraclass Correlation	95% Confidence Interval	F Test	Sig
Single Measures	0.130	(-0.024 - 0.385)	1.746	0.055
Average Measures	0.527	(-0.134 - 0.758)	1.746	0.055

Hasil analisis ICC menunjukkan nilai reliabilitas *single measure* = 0,130 (rendah) dan *average measure* = 0,527 (kategori sedang) (Tabel 6). Temuan ini menunjukkan bahwa konsistensi penilaian meningkat ketika penilaian beberapa validator digabungkan, meskipun belum signifikan secara statistik. Secara substantif, hasil ini menunjukkan adanya variasi persepsi antarvalidator terhadap aspek tertentu dari media. Perbedaan persepsi ini dapat dijelaskan oleh latar belakang keahlian validator yang beragam (ahli materi, ahli media, dan praktisi pendidikan). Dalam evaluasi media pembelajaran dengan teknologi, variasi penilaian termasuk hal yang umum terjadi karena setiap validator menilai dari sudut pandang yang berbeda, misalnya estetika visual, kedalaman materi, atau pendekatan pedagogis. Secara teoretis, kondisi ini menunjukkan bahwa media AR merupakan produk multidimensional yang melibatkan aspek teknologi, pedagogi, dan konten secara simultan. Temuan tersebut selaras dengan (Farid, 2022) menunjukkan bahwasanya media dapat memiliki validitas tinggi namun reliabilitas antarvalidator belum maksimal karena perbedaan perspektif penilaian. Dengan demikian, reliabilitas kategori sedang dalam penelitian ini masih dapat diterima dan menunjukkan bahwa media memiliki konsistensi penilaian yang memadai untuk digunakan dalam pembelajaran.

Analisis Kepuasan Pengguna

Analisis kepuasan pengguna bertujuan guna mengetahui sejauh mana media pembelajaran telah memenuhi kebutuhan, harapan, pengalaman belajar, serta tingkat penerimaan pengguna terhadap produk tersebut. Dalam penelitian ini sudah dijalankan uji coba terbatas kepada peserta didik kelas XII SMAS Advent Manokwari sebanyak 17 orang peserta didik.

Hasil analisis angket kepuasan pengguna terhadap media pembelajaran AR dalam materi Redoks untuk menumbuhkan kesadaran *Green Chemistry* pada konteks *ESD*, diperoleh nilai persentase kepuasan sebesar 82,35%. Nilai ini didapat dari perhitungan persentase mempergunakan rumus tingkat kepuasan pengguna, yaitu:

$$\text{Skor Maksimal} = \text{Jumlah Responden} \times \text{Jumlah Item} \times \text{Skor Maksimum} \quad (4)$$

$$\text{Skor Maksimal} = 17 \times 16 \times 4 = 1.088$$

$$\text{Skor Perolehan} = 896$$

$$\text{Persentase Kepuasan}(\%) = \frac{896}{1.088} \times 100\% = 82,35\%$$

Nilai sebesar 82,35% menunjukkan bahwa tingkat kepuasan peserta didik berada pada kategori “Sangat Baik” berdasarkan interpretasi indeks kepuasan menurut Sugiyono (2016) yang menyatakan bahwa rentang persentase 81–100% dikategorikan sebagai sangat baik. Temuan ini memperlihatkan bahwasanya peserta didik menganggap media pembelajaran AR yang dikembangkan telah memenuhi aspek kebutuhan

belajar, kemudahan penggunaan, tampilan visual yang menarik, serta kebermaknaan materi yang disajikan (Santos, 2016). Di lain sisi, penggunaan AR dalam pembelajaran terbukti memberi pengalaman belajar yang interaktif serta kontekstual, yang nantinya bisa menaikkan tingkat keterlibatan, motivasi, serta pemahaman peserta didik kepada konsep reaksi redoks serta penerapannya dalam *Green Chemistry* (Cai, 2021).

Tingkat kepuasan yang tinggi juga memperlihatkan bahwasanya media pembelajaran sudah layak untuk digunakan sebagai sarana pendukung pembelajaran kimia modern berbasis teknologi (Keller, 2009). Namun demikian, persentase ini juga memberikan ruang untuk evaluasi dan peningkatan lebih lanjut. Beberapa aspek seperti variasi soal, peningkatan fitur interaksi, serta pengembangan panduan penggunaan yang lebih intuitif dapat menjadi fokus pengembangan berikutnya untuk mencapai tingkat kepuasan yang lebih optimal (Sun et al., 2008).

Hasil ini juga memberikan dasar bahwa media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* berhasil memberikan kontribusi positif terhadap proses pembelajaran kimia, khususnya materi redoks yang dinilai abstrak dan sulit dipahami melalui pembelajaran konvensional (Dunleavy, 2014). Dengan demikian, media ini dapat direkomendasikan untuk digunakan dan dikembangkan pada tingkat pembelajaran yang lebih luas sesuai dengan konsep pembelajaran abad 21 dan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) (Wals, 2015).

Hasil penelitian ini yang menunjukkan tingkat kepuasan pengguna sebesar 82,35% sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya terkait pemakaian media berbasis teknologi AR pada pembelajaran kimia. Temuan dari Audina dan Muchtar (2024) memperlihatkan bahwasanya Hasil validasi ahli media menunjukkan aplikasi ini sudah memenuhi standar kualitas serta layak digunakan dengan persentase kelayakan sebesar 88,2%. Uji kemenarikan dilakukan terhadap sejumlah peserta untuk mengevaluasi daya tarik aplikasi dalam memotivasi peserta dalam pembelajaran dan diperoleh persentase kemenarikan sebesar 93,12%, sehingga media ini memperoleh kriteria sangat menarik dalam pembelajaran.

Penelitian lain oleh Burmeister et al. (2012) tentang keterkaitan ESD dengan pendidikan kimia, termasuk integrasi *Green Chemistry* sebagai bagian dari pembelajaran yang merefleksikan makna tantangan yang diajukan oleh PBB serta apa arti pedagogi ESD bagi pendidikan kimia. Selain itu, artikel ini juga menyajikan tinjauan berbagai model yang menunjukkan bagaimana integrasi isu-isu keberlanjutan dapat selaras dengan pendidikan kimia (Makransky, 2019).

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian yang relevan tersebut mendukung temuan pada studi ini, yaitu bahwasanya media pembelajaran berbasis AR memberi pengalaman belajar yang menyenangkan, interaktif, mudah dipahami, dan meningkatkan keterlibatan peserta. Capaian persentase kepuasan 82,35%, media AR pada penelitian ini dapat dikatakan konsisten dengan kecenderungan hasil penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa AR merupakan inovasi pembelajaran yang efektif, edukatif, dan adaptif terhadap konteks ESD serta pembelajaran berbasis teknologi. Secara keseluruhan, temuan penelitian memperlihatkan bahwasanya media pembelajaran AR yang sudah dikembangkan mempunyai validitas sangat tinggi, reliabilitas yang dapat diterima, serta tingkat kepuasan pengguna yang sangat baik. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi empat komponen utama—*Augmented Reality*, materi Redoks, prinsip *Green Chemistry*, dan kerangka ESD, dalam satu media pembelajaran yang komprehensif (Radu, 2014). Pendekatan ini memperluas fungsi media AR dari

sekadar alat visualisasi konsep menjadi sarana pembelajaran kontekstual yang mendukung pendidikan keberlanjutan. Oleh karenanya, penelitian ini bukan sekadar memperkuat temuan penelitian sebelumnya, tetapi juga memberi kontribusi kepada pengembangan media pembelajaran kimia yang lebih sesuai dengan tuntutan pendidikan abad 21.



Gambar 2. Uji Coba Terbatas

SIMPULAN

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menilai kelayakan dan penerimaan media pembelajaran kimia berbasis AR pada materi reaksi redoks yang diintegrasikan dengan prinsip *Green Chemistry* dalam kerangka *Education for Sustainable Development*. Temuan ini memperlihatkan bahwasanya media mempunyai tingkat kelayakan yang sangat tinggi merujuk dari penilaian ahli melalui rerata Aiken's V 0,89. Konsistensi penilaian antarvalidator berada pada kategori sedang (*ICC average* = 0,527), yang menunjukkan bahwa media memiliki tingkat reliabilitas yang dapat diterima. Uji coba kepada peserta didik menghasilkan tingkat kepuasan pengguna sebesar 82,35% dengan kategori sangat baik, yang menandakan bahwa media diterima secara positif dan dinilai membantu proses pembelajaran.

Temuan tersebut menunjukkan bahwasanya media pembelajaran AR yang sudah dikembangkan layak digunakan serta memiliki tingkat penerimaan pengguna yang tinggi sebagai alternatif pembelajaran kimia yang lebih visual, interaktif, dan kontekstual. Media ini berpotensi mendukung pembelajaran redoks yang mengaitkan konsep kimia dengan isu keberlanjutan. Penelitian ini memiliki implikasi bahwa pemanfaatan teknologi AR bisa menjadi suatu inovasi media pembelajaran kimia berbasis teknologi dan keberlanjutan. Namun, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji media pada skala yang lebih luas serta mengevaluasi efektivitasnya terhadap peningkatan hasil belajar peserta didik.

DAFTAR REFERENSI

- Al-Seadi, H. L., Sabti, M. Z., & Taain, D. A. (2021). GC-MS analysis of Papaya leaf extract (*Carica Papaya L.*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 910(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012011>
- Anastas, P. T., & Eghbali, N. (2010). *Green chemistry: principles and practice*. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301–312.
- Audina, A., & Muchtar, Z. (2024). Development of interactive learning media based augmented reality android technology application on redox reaction materials *Jurnal Teknologi Pendidikan* : 9(1), 35–42.
- Azwar, S. (2012). *Reliabilitas dan validitas*. Pustaka Pelajar.

- Ramlah, Sitti Fatimah Ramadhani, Putri Sarera Surbakti, Achmad Rante Suparman, Murthihapsari, Muhammad Fajar Islam, Yona Lesti Aling
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2020). *Augmented Reality trends in education: A systematic review of research and applications. Educational Technology & Society*, 23(3), 1–17.
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). *Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59–68.
- Cai, S. et al. (2021). Effects of AR on science learning. *Journal of Science Education*.
- Cheng, K.-H. (2014). *Augmented reality in science learning. Computers & Education*.
- Creswell, J. W. (2014). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches* (4 (ed.)). SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. SAGE.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design*. SAGE Publications.
- Dunleavy, M. (2014). Design of AR learning. *Educational Technology Research*.
- Eilks, I. (2015). Sustainable chemistry education. *Chemistry Education Research*.
- Farid, F. (2022). *Pengembangan media pembelajaran kimia E-chembond berbasis android pada submateri ikatan kimia*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Garzon, J. (2020). AR effectiveness meta-analysis. *Educational Research Review*.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). *Visualization in science education*. Springer.
- Ibanez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). *Augmented reality for STEM learning. Computers & Education*, 123, 109–123.
- Johnstone, A. H. (1993). *The development of chemistry teaching*. Oxford.
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer Science & Business Media.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163.
- Makransky, G. (2019). Immersive learning research. *Educational Psychology Review*.
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). Immersive VR and learning outcomes. *Educational Psychology Review*.
- Martin, F., & Betrus, A. K. (2019). Digital media for learning. *Digital Media for Learning*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33120-7>.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). *Qualitative data analysis*. SAGE.
- OECD. (2019). *Future of Education and Skills 2030*.
- Putra, G. M. C. (2024). Development of augmented reality media based on Assemblr Edu to enhance the learning outcomes. *Research and Development in Education (RaDEn)*, 4(2), 924–939.
- Radianti, J., & others. (2020). A review of AR in education. *Computers & Education*.
- Radu, I. (2014). *Augmented reality in education: A meta-review. Educational Technology Research and Development*.
- Retnawati, H. (2016). *Analisis kuantitatif instrumen penelitian (panduan peneliti,*

- Ramlah, Sitti Fatimah Ramadhani, Putri Sarera Surbakti, Achmad Rante Suparman, Murtihapsari, Muhammad Fajar Islam, Yona Lesti Aling
mahasiswa, dan psikometrian). Parama publishing.
- Rieckmann, M. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO publishing.
- Santos, M. et al. (2016). *Augmented Reality as multimedia. Computers in Human Behavior*.
- Sirakaya, M., & Sirakaya, D. A. (2018). AR in science education. *Education and Information Technologies*.
- Sudjana, N. (2021). *Dasar dasar proses belajar mengajar*. Sinar Baru Algensindo.
- Sugiyono. (2016). *Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Sugiyono, S. (2019). *Metode penelitian pendidikan*. Alfabeta.
- Sun, P., Tsai, R. J., Finger, G., & Chen, Y. (2008). *What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction*. 50, 1183–1202. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.007>
- Suparman, A. R., Murtihapsari, M., Astari, B.F., Ramlah, R., & Faisal, F. (2025). Development of augmented reality media based on Assembler Edu on molecular geometry. *QUANTUM: Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 16(1), 52–63. <http://dx.doi.org/10.20527/quantum.v16i1>
- Taber, K. S. (2013). *Chemical misconceptions*. Royal Society of Chemistry.
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals*. UNESCO.
- Wals, A. E. J. (2015). Beyond unreasonable doubt: Education and learning for socio-ecological sustainability in the anthropocene. *Environmental Education Research*, 21(7), 1031–1047. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1050080>