

SAKALIMA

PILAR PEMBERDAYAAN MASYARAKAT PENDIDIKAN

VOL 3. NO. 3 (2026)

ISSN: 3064-2361

Desain Awal Media Virtual Reality untuk Pembelajaran Konsep Foton dan Energi Foton

Zidny Manaasika✉ dan Siti Nur Ayu✉

To cite this article Manaasika, Z., Ayu, S. N. Desain Awal Media Virtual Reality untuk Pembelajaran Konsep Foton dan Energi Foton. *SAKALIMA Pilar Pemberdaya. Masy. Pendidik.*, vol. 3, no. 3, pp. 480–491, 2026. <https://doi.org/10.70211/sakalima.v3i3.490>

To link to this article:



Published online: Sept. 18, 2026



Submit your article to this journal



View crossmark data

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://journal.wiseedu.co.id/index.php/sakalima/about>



Desain Awal Media Virtual Reality untuk Pembelajaran Konsep Foton dan Energi Foton

Zidny Manaasika dan Siti Nur Ayu

Received: 12 Juli 2026

Revised: 12 Agustus 2026

Accepted: 2 September 2026

Online: 18 September 2026

Abstract

Quantum concepts are difficult to represent through static explanations, but the instructional value of immersive media must be evaluated rather than assumed. This study describes an initial virtual reality (VR) design in Delightex Edu for photon and photon-energy learning. The reported development process adapts a three-stage needs-materials-design sequence and uses the Pantelidis framework for VR design decisions through virtual-environment construction. Documented artefacts depict objectives and three proposed activities: ordering labeled light sources by photon energy, exploring a flashlight representation of photons, and tracing photovoltaic energy conversion. These scenes were conceptually mapped to interpreting, exemplifying, classifying, summarizing, inferring, comparing, and explaining. The design requires explicit frequency/energy labels, prompts, feedback, and clarification that visual photon particles and energy-flow cues are models rather than direct observations. Observation and teacher-interview information was reported as a source of needs, but the site, participants, timing, and excerpts were unavailable for independent assessment. The study reports neither expert validation nor functionality, usability, or learning-effectiveness tests. Accordingly, the contribution is a documented preliminary design, not evidence of improved conceptual understanding. Future work should verify physical accuracy, review the design with experts, test implementation, and evaluate learning outcomes.

Keywords: Conceptual Understanding; Delightex Edu; Instructional Design; Photon Energy; Quantum Physics; Virtual Reality

Publisher's Note:

WISE Pendidikan Indonesia stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright:

©

2026 by the author(s).

License WISE Pendidikan Indonesia, Bandar Lampung, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

VOL. 3 NO. 3 2026 E-ISSN 3064-2361



PENDAHULUAN

Pembelajaran konsep fisika abstrak menuntut peserta didik menafsirkan representasi visual dan menghubungkannya dengan penjelasan konseptual. Namun, dalam praktik pembelajaran, penjelasan verbal dan gambar dua dimensi tidak selalu cukup untuk memperlihatkan relasi yang bersifat dinamis dan tidak dapat diamati langsung. Teknologi interaktif dapat melengkapi representasi tersebut dengan menyediakan objek dan aktivitas eksplorasi, bukan secara otomatis menjamin hasil belajar. Karena itu, pemilihan media harus mengikuti tujuan, isi, dan tuntutan kognitif pembelajaran [1], [2], [3]. Kerangka multirepresentasi menekankan perlunya mengaitkan fungsi tiap representasi dengan tugas kognitif peserta didik; tinjauan simulasi sains juga menunjukkan bahwa rancangan instruksional lebih penting daripada sekadar kehadiran visualisasi digital [4], [5].

Kesulitan konseptual dalam fisika kuantum berkaitan dengan perbedaan cara berpikir klasik dan kuantum serta kebutuhan menghubungkan representasi konseptual dengan model fisis [6], [7]. Berbeda dari bahasan luas mengenai superposisi dan ketidakpastian, rancangan yang terdokumentasi dalam artikel ini berfokus pada cahaya sebagai representasi foton, perbandingan energi per foton, dan ilustrasi penerapannya pada sel fotovoltaik. Dengan demikian, kebutuhan belajar yang dipilih adalah kemampuan membedakan energi per foton menurut frekuensi serta menafsirkan alur konversi energi, bukan keseluruhan kompetensi mekanika kuantum [8], [9]. Klaim hasil observasi lokal masih memerlukan informasi sekolah, kelas, tanggal, informan, dan petikan bukti yang dapat ditelusuri. Telaah penelitian pendidikan kuantum menunjukkan bahwa kesulitan tersebut juga berkaitan dengan pengalihan penalaran klasik menuju model probabilistik dan dengan keterbatasan representasi yang dipakai untuk menjelaskan fenomena kuantum [10], [11], [12].

Realitas virtual (*virtual reality*/VR) berpotensi menampilkan representasi interaktif melalui lingkungan digital tiga dimensi, tetapi tingkat imersi bergantung pada konfigurasi perangkat, navigasi, dan interaksi yang benar-benar digunakan [13], [14]. Kajian pembelajaran sains menginformasikan manfaat VR dalam konteks tertentu, sementara penerapannya pada materi lain belum dapat dianggap sebagai bukti efektivitas rancangan yang diteliti [15]. Dalam penelitian ini, VR dipilih untuk memfasilitasi aktivitas pengelompokan sumber cahaya menurut energi per foton, pengamatan representasi cahaya, dan penelusuran proses fotovoltaik. Media tersebut masih berupa rancangan awal; manfaatnya terhadap pemahaman peserta didik belum pernah diukur. Tinjauan mengenai VR pendidikan menekankan pemilihan fitur interaksi yang relevan serta keselarasan antara tingkat imersi, aktivitas kognitif, dan hasil belajar yang hendak dinilai [16], [17], [18].

Penelitian paling dekat telah mengembangkan VR untuk pembelajaran mekanika kuantum, termasuk dualisme gelombang-partikel, disertai evaluasi pada siswa sekolah menengah [9]. Tinjauan sistematis Song dkk. tentang XR dalam pendidikan teknologi kuantum juga mengidentifikasi kurangnya landasan teori pembelajaran dan fitur bimbingan yang eksplisit di sejumlah studi [8]. Dibandingkan dengan kajian tersebut, artikel ini tidak menawarkan bukti efektivitas baru, melainkan rancangan awal berbasis Delightex Edu yang memetakan tiga aktivitas tentang foton dan energi foton pada proses kognitif yang diharapkan. Kontribusi spesifiknya adalah rancangan penghubung aktivitas antarmuka, pertanyaan konseptual, dan indikasi respons; peta ini masih membutuhkan validasi dan uji pengguna. Tinjauan terbaru juga memperingatkan bahwa perbandingan media dapat bias apabila isi dan

metode pembelajaran antarkondisi tidak dikendalikan secara setara; karena itu, rancangan tahap awal tidak boleh disamakan dengan bukti keunggulan VR [19], [20].

Kerangka proses kognitif pemahaman merujuk pada Taksonomi Bloom revisi: menafsirkan, memberi contoh, mengelompokkan, merangkum, menyimpulkan, membandingkan, dan menjelaskan [21]. Dalam konteks energi foton, menafsirkan berarti membaca relasi frekuensi–energi; memberi contoh berarti mengidentifikasi aplikasi fotovoltaiik; mengelompokkan berarti menempatkan sumber berdasarkan frekuensi yang dilabeli; merangkum berarti merumuskan inti proses; menyimpulkan berarti menarik konsekuensi perubahan frekuensi; membandingkan berarti mengurutkan energi per foton; dan menjelaskan berarti menguraikan mekanisme fisika dengan alasan. Tindakan memilih objek atau menyalakan animasi adalah interaksi antarmuka, bukan bukti tercapainya proses kognitif tersebut. Pertanyaan dan respons yang diharapkan perlu dilampirkan pada tiap adegan untuk menautkan aktivitas dengan indikator. Pemakaian beberapa bentuk representasi perlu disertai penjelasan mengenai fungsi dan batasnya, sedangkan studi pendidikan optika kuantum menunjukkan pentingnya pertanyaan diagnostik untuk menelusuri penalaran tentang foton [4], [22].

Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan rancangan awal media VR berbasis Delightex Edu untuk representasi foton, perbandingan energi per foton, dan proses fotovoltaiik, serta memetakan aktivitasnya terhadap indikator pemahaman konsep. Penelitian tidak menguji peningkatan kemampuan, kepraktisan, ataupun efektivitas penggunaan media.

METODOLOGI

Penelitian menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*research and development/R&D*), yaitu proses perancangan produk pendidikan yang dilaksanakan bertahap dan, pada siklus lengkap, diikuti penelaahan serta perbaikan berdasarkan bukti. Kerangka kerja penelitian ini mengikuti urutan identifikasi kebutuhan, pengumpulan bahan, dan desain awal produk yang pada naskah sumber dinisbatkan pada adaptasi Borg dan Gall. Namun, sumber primer dan pemetaan tepat terhadap tahapan asli belum tersedia untuk diverifikasi; sebab itu, urutan tersebut diperlakukan sebagai prosedur adaptasi penulis, bukan klaim reproduksi identik model Borg dan Gall. Kegiatan dalam artikel berhenti pada rancangan awal, sedangkan penilaian ahli, revisi, dan uji pengguna belum dilaksanakan. Model Pantelidis dipakai secara berbeda sebagai kerangka keputusan penggunaan dan desain lingkungan VR [14]. Kajian desain VR pendidikan memperlihatkan bahwa keputusan mengenai perangkat, jenis interaksi, dan indikator keluaran perlu didokumentasikan agar rancangan dapat direplikasi dan dievaluasi secara memadai [16], [17].

Luaran penelitian dibatasi pada artefak rancangan awal yang terlihat pada gambar antarmuka, tabel kebutuhan, dan pemetaan aktivitas. Sumber informasi dinyatakan meliputi telaah pustaka, observasi pembelajaran, serta wawancara guru, tetapi dokumen ini belum mencantumkan sekolah/lokasi, jenjang/kelas, jumlah informan, tanggal, durasi, frekuensi pengamatan, instrumen lengkap, atau bukti kutipan anonim. Karena rincian itu tidak tersedia, observasi dan wawancara disebut sebagai dasar kebutuhan yang dilaporkan penulis, bukan hasil yang sudah dapat diaudit. Tidak ada skor validasi materi/media, data kepraktisan, log uji fungsi, maupun data pemahaman peserta didik yang dapat digunakan untuk menyimpulkan kelayakan atau efektivitas.



Gambar 1. Peta alur adaptasi pengembangan; hanya identifikasi kebutuhan, pengumpulan bahan, dan desain awal yang dilaporkan telah dilakukan

Identifikasi Potensi dan Masalah

Tahap identifikasi kebutuhan dinyatakan menggunakan telaah pustaka, observasi, dan wawancara guru fisika untuk mengenali kesulitan menjelaskan konsep abstrak. Agar prosedur dapat direplikasi, penulis harus melengkapi lokasi dan kelas/jenjang, pemilihan informan, jadwal, pedoman observasi/wawancara, kata kunci serta basis data pencarian pustaka, jumlah sumber yang dianalisis, dan ringkasan temuan anonim. Tanpa bahan tersebut, kebutuhan yang disebutkan selanjutnya dalam Tabel 1 harus dibaca sebagai interpretasi desain berdasarkan deskripsi penulis, bukan frekuensi atau prevalensi kesulitan peserta didik yang telah terukur. Kajian kritis simulasi sains menunjukkan bahwa informasi kebutuhan belajar dan tujuan pembelajaran perlu menjadi dasar pemilihan representasi serta aktivitas digital, bukan sekadar asumsi bahwa simulasi selalu lebih efektif [5].

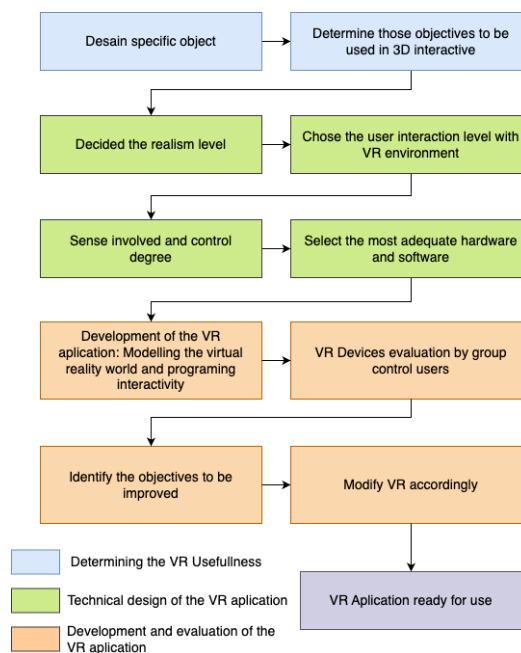
Pengumpulan Data

Pengumpulan bahan ditempatkan sebagai tahap berbeda dari identifikasi masalah: keluaran yang dibutuhkan ialah materi konsep foton, label frekuensi/panjang gelombang, aset senter dan sel surya, spesifikasi interaksi, dan rancangan umpan balik. Pemisahan fungsi tahap ini adalah usulan rekonstruksi prosedur berdasarkan produk; catatan kegiatan, asal aset, perizinan, dan jejak keputusan penulis harus diperiksa untuk memastikan bahwa urutan tersebut benar-benar dilaksanakan. Prinsip desain multirepresentasi juga menyarankan agar visualisasi, simbol, dan tugas peserta didik dipadukan secara sengaja untuk menghindari penafsiran yang terputus-putus [4].

Desain Produk

Tahap desain produk menggunakan Pantelidis sebagai panduan adaptif untuk: menetapkan tujuan; memilih tujuan yang sesuai divisualkan; mengidentifikasi perlunya interaksi tiga dimensi; menentukan tingkat realisme, imersi, keberadaan, serta jenis masukan–keluaran indrawi; memilih perangkat dan perangkat lunak; kemudian membangun lingkungan virtual

[14]. Empat tahap selanjutnya pada model lengkap adalah evaluasi kelompok awal, perbaikan berulang, evaluasi kelompok sasaran, dan perbaikan berdasarkan hasilnya; tahap tersebut tidak dilakukan. Keputusan mengenai perangkat tampilan, pelacakan gerak, kendali, serta uji fungsi belum terdokumentasi, sehingga mode imersi tidak dapat ditetapkan secara meyakinkan. Pertimbangan tersebut selaras dengan model pembelajaran imersif yang memasukkan keberadaan, minat, beban kognitif, dan pengaturan aktivitas; penelitian pra-pelatihan juga menunjukkan perlunya dukungan sebelum eksplorasi VR [18], [23].



Gambar 2. Diagram model keputusan dan desain VR Pantelidis (diadaptasi dari [14]); kegiatan penelitian dibatasi hingga pembangunan lingkungan virtual

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil yang dapat diidentifikasi ialah rancangan adegan pengantar, aktivitas pengelompokan sumber cahaya menurut energi per foton, representasi pancaran cahaya melalui senter, dan ilustrasi penggunaan sel surya. Bukti yang dilaporkan berupa deskripsi tugas dan cuplikan antarmuka pada tabel, bukan skor hasil belajar atau hasil uji fungsi. Hasil berikut dibaca sebagai keputusan desain beserta keterbatasan bukti pendukungnya.

Analisis kebutuhan yang dilaporkan penulis mengarah pada tiga keputusan rancangan: menyajikan relasi frekuensi dengan energi foton, menggunakan model visual untuk mendiskusikan cahaya sebagai foton, dan menghubungkan penyerapan foton dengan contoh fotovoltaiik. Literatur mengenai kesulitan mempelajari teori kuantum dan desain VR memberi alasan konseptual bagi pilihan tersebut [6], [8], [9]. Akan tetapi, data observasi maupun wawancara dalam bentuk kutipan, matriks kategori, atau dokumen lapangan belum tersedia; oleh sebab itu, Tabel 1 disajikan sebagai pemetaan kebutuhan dan usulan desain, bukan ringkasan kajian pustaka sistematis. Kajian kesulitan fisika kuantum dan penelitian eksperimental berbasis foton dapat digunakan sebagai dasar teoritis untuk merumuskan tugas diagnostik, tetapi tidak menggantikan bukti kebutuhan dari peserta didik yang menjadi sasaran rancangan [10], [24].

Tabel 1. Pemetaan kebutuhan konseptual dan keputusan desain awal VR

No	Kebutuhan representasi konsep energi foton	Kebutuhan Media	Implikasi Desain VR
1	Foton dan energi per foton memerlukan representasi dan penjelasan yang dapat dipertanggungjawabkan [6], [8].	Label frekuensi/panjang gelombang dan petunjuk hubungan $E = hf$.	Adegan sumber cahaya berlabel; pertanyaan tentang energi per foton.
2	Perbandingan energi sumber cahaya	Tugas klasifikasi perlu membedakan energi per foton dari intensitas.	Pengurutan sumber cahaya berdasarkan frekuensi yang dinyatakan, disertai umpan balik.
3	Cahaya sebagai model foton	Visualisasi bersifat representasional, bukan pengamatan partikel langsung [9].	Adegan senter dan pertanyaan keterbatasan ilustrasi.
4	Penerapan foton pada sel fotovoltaik	Perlu uraian penyerapan foton dan aliran arus dalam rangkaian [25].	Adegan panel surya; aktivitas menjelaskan urutan konversi energi.
5	Aktivitas interaktif dan respons konseptual Pembelajaran yang hanya menggunakan penjelasan verbal dan media dua dimensi kurang mendukung keterlibatan peserta didik.	Klik dan gerakan objek harus diikuti alasan atau kesimpulan.	Petunjuk, pertanyaan konseptual, dan umpan balik yang masih harus diuji.

Pemetaan tersebut memperlihatkan rasional tiga adegan inti: pengurutan sumber cahaya untuk membandingkan energi per foton, model senter untuk menafsirkan representasi foton, serta panel surya untuk menjelaskan proses konversi energi. Aktivitas ini memerlukan label besaran dan pertanyaan pengarah agar peserta didik tidak sekadar melakukan manipulasi objek. Penyebutan kesulitan siswa pada Tabel 1 merupakan dugaan kebutuhan yang menanti triangulasi catatan observasi dan wawancara, bukan temuan prevalensi yang telah teruji. Karena fungsi simulasi ditentukan oleh tugas dan bimbingan yang menyertainya, setiap adegan sebaiknya dilengkapi pertanyaan penalaran, kriteria respons, serta umpan balik yang dapat diamati [5], [4].

Dari uraian produk, bahan yang digunakan meliputi objek sumber cahaya, senter, representasi pancaran, panel surya, kabel, rumah, serta petunjuk navigasi. Catatan lapangan yang memverifikasi kondisi pembelajaran sebelum desain, identitas informan yang dianonimkan, kutipan wawancara, spesifikasi file/aset, dan prosedur pemeriksaan materi belum disajikan. Karena itu, tidak dapat disimpulkan bahwa semua siswa mengalami kesulitan memahami foton hanya dari deskripsi keterbatasan media sebelumnya.

Desain awal dipetakan pada enam keputusan Pantelidis yang relevan [14]. Uraian berikut menjelaskan produk dan keputusan desain yang tampak; urutan ini bukan laporan hasil validasi, uji fungsi, atau uji dampak pembelajaran.

Tujuan rancangan difokuskan pada tiga kemampuan yang diharapkan: (a) membandingkan energi per foton untuk sumber cahaya yang frekuensinya ditetapkan; (b) menafsirkan ilustrasi pancaran cahaya sebagai representasi model; dan (c) menjelaskan bahwa

foton yang diserap sel fotovoltaik dapat memicu pembangkitan pembawa muatan dan aliran listrik dalam rangkaian. Kompetensi ini merupakan spesifikasi desain yang diusulkan; jenjang, kelas/fase, dan capaian pembelajaran resmi yang menjadi dasar pemilihan kedalaman materi belum dikonfirmasi.

Representasi digital dipilih untuk memungkinkan peserta didik mengubah dan membandingkan kondisi yang dinyatakan melalui label, membaca konsekuensinya, lalu menyampaikan penjelasan. Pemilihan ini menuntut adanya tugas konseptual dan umpan balik; perubahan visual saja tidak setara dengan pemahaman. Belum ada bukti perbandingan kebutuhan VR terhadap opsi simulasi dua dimensi pada populasi sasaran. Studi tentang pra-pelatihan dan proses afektif-kognitif dalam VR menunjukkan bahwa instruksi pengarah dapat membantu, sedangkan imersi yang tinggi juga berpotensi meningkatkan distraksi [23], [26].

Tiga adegan yang terlihat adalah pengurutan objek sumber cahaya, aktivasi model senter, dan interaksi panel surya. Ketiganya mendukung representasi dan dialog tentang foton, tetapi naskah tidak menunjukkan fitur bagi superposisi, probabilitas posisi partikel, atau dualisme gelombang-partikel. Karena itu, topik tersebut tidak diklaim sebagai isi prototipe.

Tabel 2. Tampilan awal tujuan penggunaan media pada Delightex Edu

Nomor	Gambar	Deskripsi
1		Adegan pembuka memperkenalkan tujuan penggunaan VR. Naskah sasaran belajar dan keterbacaan tampilannya perlu diperiksa pada mode pengguna; jenjang/kelas belum dilaporkan.

Lingkungan virtual ditampilkan melalui platform Delightex Edu, namun bukti konfigurasi penggunaan belum mencantumkan perangkat monitor, ponsel, proyeksi atau headset; jenis pengendali; pelacakan gerak; dan ruang pandang. Oleh sebab itu, label non-imersif, semi-imersif, maupun imersif tidak ditetapkan. Saat mengembangkan desain, tingkat realisme disarankan cukup untuk menonjolkan relasi energi foton dan fungsi panel surya, dengan petunjuk visual yang mengurangi gangguan dan beban kognitif yang tidak relevan [3]. Penelitian laboratorium sains berbasis VR melaporkan bahwa peningkatan rasa hadir dapat disertai beban kognitif yang lebih tinggi dan hasil belajar lebih rendah; tingkat imersi karena itu perlu diuji, bukan diasumsikan menguntungkan [27], [18].

Platform yang disebut dalam berkas adalah Delightex Edu. Pilihan perangkat lunak dapat mendukung penyusunan objek tiga dimensi dan interaksi, tetapi data mengenai tipe perangkat, spesifikasi teknis, akses jaringan, serta pengujian kompatibilitas belum dilaporkan. Kemampuan platform bukan bukti bahwa seluruh fungsinya telah diprogram dan dijalankan pada prototipe ini.

Artefak awal memuat susunan objek untuk pemilahan sumber cahaya, aktivasi senter, dan simulasi visual panel surya, sebagaimana tampak pada Tabel 3. Untuk memverifikasi bahwa ini merupakan prototipe operasional, penulis perlu menunjukkan pengujian tiap tindakan pengguna, respons aktual, kesalahan, serta hasil perbaikan. Rekaman uji semacam itu belum tersedia, sehingga animasi, audio, navigasi, dan kinerja interaksi tidak dinyatakan telah lolos verifikasi.

Tabel 3. Adegan VR dan tugas konseptual yang dirancang pada Delightex Edu

Indikator	Gambar	Deskripsi
Mengelompokkan; membandingkan		Peserta didik dirancang mengurutkan sumber cahaya berlabel frekuensi/ λ , lalu menjelaskan alasan menggunakan $E = hf$. Energi per foton dibedakan dari intensitas; respons belajar belum diuji.
Menafsirkan; menjelaskan		Adegan senter memvisualkan model pancaran. Pertanyaan: apa yang diwakili ilustrasi foton dan bagian mana yang disederhanakan? Menyalakan senter saja belum menjadi bukti pemahaman.
Memberi contoh; menyimpulkan; merangkum		Adegan panel surya digunakan untuk memberi contoh, menjelaskan penyerapan foton dan arus dalam rangkaian, kemudian menyimpulkan serta merangkum konversi energi. Kabel bercahaya hanya kode visual jika dipakai.

Pembahasan

Rancangan yang terdokumentasi memperlihatkan tiga pilihan representasi, masing-masing dengan konsekuensi pedagogis yang berbeda. Pengelompokan sumber cahaya memberi kesempatan membandingkan energi per foton hanya jika sumber diberi label frekuensi atau panjang gelombang yang tepat. Untuk cahaya monokromatik, hubungan $E = hf = hc/\lambda$ berarti semakin tinggi frekuensi, semakin besar energi setiap foton; perubahan jumlah foton atau intensitas tidak identik dengan perubahan energi per foton [28]. Warna selubung lampu tidak cukup untuk menentukan frekuensi emisi. Oleh karena itu, aktivitas pengurutan sebaiknya dilengkapi pertanyaan alasan, koreksi jawaban, dan pembeda antara energi per foton dan intensitas. Riset penalaran kuantum pada jenjang sekolah dan pembelajaran berbasis eksperimen foton memperkuat pentingnya membedakan representasi partikel klasik dari deskripsi kuantum serta menguji alasan konseptual peserta didik [12], [24].

Adegan senter dapat memicu pembicaraan mengenai foton, tetapi titik animasi dan berkas cahaya hanyalah model yang memudahkan perhatian, bukan pengamatan langsung partikel foton sebagai benda klasik. Peserta didik perlu diminta menafsirkan apa yang direpresentasikan, apa yang disederhanakan, serta mengaitkannya dengan frekuensi dan energi. Pada adegan panel surya, foton yang diserap semikonduktor dapat memicu pembentukan pembawa muatan, sedangkan elektron bergerak dalam rangkaian listrik; foton tidak mengalir melalui kabel [25]. Animasi kabel yang bercahaya, apabila digunakan, harus dilabeli sebagai penanda visual arus/transfer energi dan bukan proses fisis yang diamati. Temuan penelitian tentang interferensi foton dan ulasan pembelajaran mekanika kuantum mendukung penggunaan model yang secara eksplisit memaparkan apa yang direpresentasikan sekaligus apa yang tidak dapat dijelaskan oleh gambar sederhana [22], [11].

Pertimbangan desain tidak cukup dinilai dari urutan tahap yang telah ditempuh. Elemen seperti label sumber cahaya, instruksi dan umpan balik, keterbacaan teks, kesesuaian representasi fisis, durasi aktivitas, serta beban kognitif masih membutuhkan pemeriksaan tersendiri. Studi terkait VR dan beban kognitif menjadi rujukan konseptual untuk desain, tetapi populasi maupun konten sumber tersebut berbeda dengan penelitian ini [3]. Dengan demikian,

produk dapat dinilai sebagai dokumen rancangan awal, bukan media berkualitas atau mudah digunakan yang sudah dibuktikan. Kajian VR memperlihatkan bahwa pengalaman yang menarik belum tentu menghasilkan pemahaman lebih baik, terutama apabila distraksi dan beban kognitif tidak ditangani melalui arahan dan aktivitas reflektif [26], [27], [18].

Temuan dari penelitian lain perlu dibaca sesuai konteksnya. Studi VR pada mekanika kuantum oleh Tarng dan Pei melaporkan pengujian pengguna sekolah menengah, sedangkan produk dalam artikel ini belum memasuki tahap tersebut [9]. Kajian sistematis pendidikan teknologi kuantum juga menyoroti kekurangan strategi bimbingan pedagogis dalam rancangan XR [8], sementara meta-analisis pembelajaran sains membahas pengaruh VR lintas materi dan perangkat [15]. Studi VR pada radioaktivitas [29], pembelajaran anak usia dini [30], sekolah dasar [31], dan trigonometri [32] memiliki perbedaan peserta maupun konstruk; temuannya tidak langsung mengesahkan rancangan foton ini. Oleh karena itu, kontribusi yang dapat dipertanggungjawabkan adalah pemetaan awal aktivitas ke tugas konseptual dan identifikasi kebutuhan validasi, bukan peningkatan pemahaman yang sudah terukur. Kajian tentang lingkungan “*particle in a box*” juga menunjukkan pendekatan lain untuk representasi konsep kuantum yang perlu dibandingkan secara eksplisit pada tahap evaluasi desain [33]. Meta-analisis terdahulu melaporkan potensi manfaat media VR pada konteks tertentu, tetapi tinjauan yang lebih baru menekankan variasi hasil dan persoalan kesetaraan desain perbandingan; temuan dari topik lain tidak dapat langsung digeneralisasi pada pembelajaran energi foton [34], [20], [19], [17].

Keterbatasan penelitian merupakan konsekuensi langsung dari pembatasan tahap desain. Keakuratan materi, konsistensi tujuan–tugas–indikator, keterbacaan antarmuka, fungsi tombol, kenyamanan penggunaan, dan peningkatan pemahaman belum divalidasi atau diukur. Catatan observasi dan wawancara analisis kebutuhan juga belum terdokumentasi cukup untuk ditelusuri; hal ini berbeda dari tidak adanya tanggapan pengguna terhadap produk setelah dipakai. Selain itu, cakupan produk terletak pada representasi foton dan fotovoltaiik, bukan seluruh isi fisika kuantum. Kesenjangan validasi ini juga sejalan dengan temuan tinjauan desain VR bahwa banyak studi menitikberatkan kemudahan penggunaan, sementara pengukuran hasil belajar dan deskripsi instruksional sering kurang lengkap [16], [19].

Tindak lanjut perlu dilakukan bertahap: audit ahli fisika atas hubungan $E = hf$, sifat representasi foton, dan proses fotovoltaiik; penelaahan ahli media/pembelajaran atas tujuan, tugas, umpan balik, dan beban kognitif; revisi produk berdasarkan temuan; uji fungsi serta kepraktisan pada jenjang sasaran yang dinyatakan; dan baru kemudian evaluasi pemahaman dengan instrumen yang valid dan desain perbandingan yang sesuai. Urutan ini adalah agenda penelitian, bukan hasil penelitian sekarang. Untuk penelitian lanjutan, rancangan instruksional dan instrumen asesmen perlu ditetapkan sebelum perbandingan media dilakukan, agar hasil dapat diatribusikan secara lebih jelas dan tidak tercampur dengan perbedaan tugas pembelajaran [19], [17].

KESIMPULAN

Penelitian menghasilkan rancangan awal adegan VR berbasis Delightex Edu untuk pengelompokan sumber cahaya menurut energi per foton, model pancaran cahaya melalui senter, dan contoh konversi energi pada sel fotovoltaiik. Ketiga aktivitas telah dipetakan secara konseptual dengan indikator menafsirkan, mengelompokkan, membandingkan, menjelaskan,

memberi contoh, menyimpulkan, dan merangkum; pemetaan tersebut adalah tujuan rancangan, belum capaian peserta didik. Karena pengembangan berhenti pada tahap desain, penelitian belum memiliki bukti validitas materi/media, kepraktisan, fungsi yang teruji, ataupun efektivitas pembelajaran. Penelitian berikutnya perlu memverifikasi ketepatan model fisika, mendokumentasikan hasil penilaian ahli dan uji fungsi, kemudian menguji pengalaman belajar pada pengguna sasaran.

INFORMASI PENULIS

Penulis Koresponden

Zidny Manaasika – Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);

Email: zidnymanaasika@gmail.com

Penulis

Zidny Manaasika – Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);

Email: zidnymanaasika@gmail.com

Siti Nur Ayu – Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);

Email: stnr.ayhu@gmail.com

KONFLIK KEPENTINGAN

"Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan."

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Sambiri, A. Saputra, and H. Isra Handayani, "Pengaruh pendekatan multirepresentasi terhadap pemahaman konsep fisika mahasiswa pendidikan fisika," *Gravitasi J. Pendidik. Fis. dan Sains*, vol. 8, no. 1, pp. 13–19, 2025. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v8i01.11637>
- [2] N. Safarati and F. Zuhra, "Media digital berbasis virtual reality dalam pembelajaran," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 6, pp. 8717–8725, 2024. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.16596>
- [3] D. Sulisworo, V. Y. Erviana, and B. Robiin, "Application of cognitive load theory in VR development and its impact on learning: A perspective on prior knowledge, learning interest, engagement, and content comprehension," *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, vol. 8, no. 2, pp. 874–881, 2024. <https://doi.org/10.62527/joiv.8.2.2467>
- [4] S. Ainsworth, "DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations," *Learning and Instruction*, vol. 16, no. 3, pp. 183–198, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- [5] L. K. Smetana and R. L. Bell, "Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature," *International Journal of Science Education*, vol. 34, no. 9, pp. 1337–1370, 2012. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- [6] A. I. Irvani, N. Rustaman, I. Kaniawati, and P. Sinaga, "Analisis kesulitan belajar mahasiswa pada mata kuliah fisika kuantum," *DIFFRACTION*, vol. 6, no. 1, pp. 30–38, Jun. 2024. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v6i1.10107>

- [7] G. Zuccarini and M. Malgieri, "Modeling and representing conceptual change in the learning of successive theories," *Sci. Educ.*, vol. 33, no. 3, pp. 717–761, Jun. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00397-1>
- [8] G. Song, X. Wang, and R. Ghannam, "Immersive quantum: A systematic literature review of XR in quantum technology education," *Computers & Education: X Reality*, vol. 5, art. no. 100087, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100087>
- [9] W. Tarng and M.-C. Pei, "Application of virtual reality in learning quantum mechanics," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 19, art. no. 10618, 2023. <https://doi.org/10.3390/app131910618>
- [10] T. Bouchée, L. de Putter-Smits, M. Thurlings, and B. Pepin, "Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses," *Studies in Science Education*, vol. 58, no. 2, pp. 183–202, 2022. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579>
- [11] K. Krijtenburg-Lewerissa, H. J. Pol, A. Brinkman, and W. R. van Joolingen, "Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 13, art. no. 010109, 2017. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- [12] U. Scotti di Uccio, A. Colantonio, S. Galano, I. Marzoli, F. Trani, and I. Testa, "Development of a construct map to describe students' reasoning about introductory quantum mechanics," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, art. no. 010144, 2020. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010144>
- [13] M. N. Azmi, H. Mansur, and A. H. Utama, "Potensi pemanfaatan virtual reality sebagai media pembelajaran di era digital," *J. Dimens. Pendidik. dan Pembelajaran*, vol. 12, no. 1, pp. 211–226, 2024
- [14] V. S. Pantelidis, "Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality," *Themes in Science and Technology Education*, vol. 2, no. 1–2, pp. 59–70, 2009. [Online]. Available: <https://ouranos.edu.uoi.gr/theste/index.php/theste/article/view/22>
- [15] M. Dhanil and F. Mufit, "How virtual reality impacts science learning? A meta-analysis," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 18, no. 22, pp. 77–96, 2024. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i22.49989>
- [16] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, "A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda," *Computers & Education*, vol. 147, art. no. 103778, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- [17] D. Hamilton, J. McKechnie, E. Edgerton, and C. Wilson, "Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design," *Journal of Computers in Education*, vol. 8, pp. 1–32, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
- [18] G. Makransky and G. B. Petersen, "The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality," *Educational Psychology Review*, vol. 33, pp. 937–958, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [19] A. P. Lawson et al., "Confounded or controlled? A systematic review of media comparison studies involving immersive virtual reality for STEM education," *Educational Psychology Review*, vol. 36, art. no. 69, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09908-8>
- [20] M. Conrad, D. Kablitz, and S. Schumann, "Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings," *Computers & Education: X Reality*, vol. 4, art. no. 100053, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>

- [21] L. W. Anderson and D. R. Krathwohl, Eds., *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, NY, USA: Longman, 2001.
- [22] E. Marshman and C. Singh, "Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 13, art. no. 010117, 2017. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010117>
- [23] O. A. Meyer, M. K. Omdahl, and G. Makransky, "Investigating the effect of pre-training when learning through immersive virtual reality and video: A media and methods experiment," *Computers & Education*, vol. 140, art. no. 103603, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103603>
- [24] P. Bitzenbauer, "Effect of an introductory quantum physics course using experiments with heralded photons on preuniversity students' conceptions about quantum physics," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 17, art. no. 020103, 2021. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020103>
- [25] U.S. Energy Information Administration, "Photovoltaics and electricity," *Energy Explained*. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>
- [26] J. Parong and R. E. Mayer, "Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 37, no. 1, pp. 226–241, 2021. <https://doi.org/10.1111/jcal.12482>
- [27] G. Makransky, T. S. Terkildsen, and R. E. Mayer, "Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning," *Learning and Instruction*, vol. 60, pp. 225–236, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- [28] NASA, "Light and the photon: Waves and energy," *Stargazers*. [Online]. Available: <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Sun5wave.htm>
- [29] I. G. Nugroho, R. F. Shidiq, T. Al Farizi, and R. R. Amarulloh, "Virtual reality effect on student learning outcomes in nuclear physics and radioactivity topics," *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, vol. 16, no. 4, pp. 352–361, 2025. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v16i4.2832>
- [30] Y. P. Rahmawati, A. Handayani, and D. Rakhmawati, "Efektivitas penggunaan media virtual reality dalam pembelajaran sains," *PAUDIA J. Penelit. dalam Bid. Pendidik. Anak Usia Dini*, pp. 325–333, Oct. 2024. <https://doi.org/10.26877/paudia.v13i2.766>
- [31] S. N. Choirin Attalina, A. Efendi, N. Niswah, and V. A. Nugroho, "Efektivitas media pembelajaran berbasis virtual reality (VR) untuk meningkatkan kemampuan pemahaman materi pada siswa sekolah dasar," *J. Tunas Bangsa*, vol. 11, no. 1, pp. 31–43, 2024. <https://doi.org/10.46244/tunasbangsa.v11i1.2599>
- [32] A. Tsaaqib, A. Buchori, and D. Endahwuri, "Efektivitas penggunaan media pembelajaran virtual reality (VR) pada materi trigonometri terhadap motivasi dan hasil belajar matematika siswa SMA," *J. Ilm. Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 1, pp. 11–19, 2022. <https://doi.org/10.26877/jipmat.v7i1.9950>
- [33] A. Anupam, R. Gupta, and A. Naeemi, "Particle in a box: An experiential environment for learning introductory quantum mechanics," *IEEE Transactions on Education*, vol. 61, no. 1, pp. 29–37, 2018. <https://doi.org/10.1109/TE.2017.2727442>
- [34] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, "Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis," *Computers & Education*, vol. 70, pp. 29–40, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>