



## Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Augmented Reality (AR) untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Sains Siswa Berkebutuhan Khusus

Rina Sembiring<sup>1\*</sup>, Winda Sari<sup>2</sup>

<sup>1\*,2</sup> Universitas Prima, Indonesia

Email : [rina.sembiring@unpri.ac.id](mailto:rina.sembiring@unpri.ac.id)<sup>1\*</sup>, [winda.sari@unpri.ac.id](mailto:winda.sari@unpri.ac.id)<sup>2</sup>

Alamat : Jl. Sekip Simpang Sikambing, Kec. Medan Petisah, Kota Medan.

Penulis Korespondensi: [fahri.alamsyah@umy.ac.id](mailto:fahri.alamsyah@umy.ac.id)

**Abstract.** *This study aims to develop an interactive Augmented Reality (AR)-based e-module that is feasible, practical, and effective in improving the understanding of science concepts among students with special needs. The background of this research is the low level of science concept comprehension among students with special needs due to the limited availability of adaptive learning media that caters to their diverse learning styles and specific needs. The research method used is Research and Development (R&D) with the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). The trial subjects involved students with special needs (mild intellectual disabilities and hearing impairments) in inclusive schools. Data collection techniques included feasibility questionnaires (media, material, and language experts), implementation observation sheets, and concept comprehension tests (pretest-posttest). The results showed that the interactive AR-based e-module was declared highly feasible (average expert score of 88.5%) and highly practical (average teacher and student response score of 85.7%). The trial results demonstrated a significant improvement in students' understanding of science concepts, with an average N-gain score of 0.72 (high category). This study concludes that the development of the interactive AR-based e-module is effective as a science learning medium capable of accommodating the visual, auditory, and kinesthetic needs of students with special needs, thereby significantly enhancing their conceptual understanding.*

**Keywords:** *Interactive e-module, Augmented Reality, understanding of science concepts, students with special needs*

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul interaktif berbasis Augmented Reality (AR) yang layak, praktis, dan efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep sains pada siswa berkebutuhan khusus (SBK). Latar belakang penelitian ini adalah rendahnya pemahaman konsep sains pada SBK akibat keterbatasan media pembelajaran yang adaptif terhadap keberagaman gaya belajar dan kebutuhan khusus mereka. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Subjek uji coba melibatkan siswa berkebutuhan khusus (tunagrahita ringan dan tuna rungu) di sekolah inklusif. Teknik pengumpulan data menggunakan angket kelayakan (ahli media, materi, dan bahasa), lembar observasi keterlaksanaan, serta tes pemahaman konsep (pretest-posttest). Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul interaktif berbasis AR dinyatakan sangat layak (skor rata-rata ahli 88,5%) dan sangat praktis (skor respons guru dan siswa 85,7%). Hasil uji coba menunjukkan peningkatan signifikan pada pemahaman konsep sains siswa, dengan nilai N-gain rata-rata 0,72 (kategori tinggi). Simpulan penelitian ini adalah bahwa pengembangan e-modul interaktif berbasis AR efektif digunakan sebagai media pembelajaran sains yang mampu mengakomodasi kebutuhan visual, auditori, dan kinestetik siswa berkebutuhan khusus, sehingga dapat meningkatkan pemahaman konsep secara bermakna.

**Kata kunci:** E-modul interaktif, Augmented Reality, pemahaman konsep sains, siswa berkebutuhan khusus

## **1. LATAR BELAKANG**

Pendidikan merupakan hak fundamental bagi setiap individu, termasuk bagi siswa berkebutuhan khusus (SBK). Dalam sistem pendidikan inklusif, siswa berkebutuhan khusus berhak mendapatkan pengalaman belajar yang bermakna, setara, dan sesuai dengan potensi mereka. Salah satu mata pelajaran yang seringkali menjadi tantangan tersendiri bagi SBK adalah Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) atau sains. Karakteristik sains yang abstrak, penuh dengan istilah ilmiah, serta melibatkan proses dan fenomena yang tidak selalu dapat diamati secara langsung, membuat siswa dengan hambatan kognitif, sensorik, atau komunikasi mengalami kesulitan dalam membangun pemahaman konsep yang utuh.

Rendahnya pemahaman konsep sains pada siswa berkebutuhan khusus tidak semata-mata disebabkan oleh keterbatasan internal siswa, tetapi juga karena belum optimalnya penggunaan media pembelajaran yang adaptif dan sesuai dengan karakteristik belajar mereka. Selama ini, pembelajaran sains di sekolah inklusif masih cenderung menggunakan metode ceramah, buku teks yang padat tulisan, dan lembar kerja konvensional. Padahal, siswa berkebutuhan khusus, seperti tunagrahita ringan, tuna rungu, tuna netra, atau autisme, memiliki gaya belajar yang beragam: visual, auditori, kinestetik, atau kombinasi di antaranya. Ketidaksesuaian media dengan gaya belajar ini mengakibatkan siswa cepat bosan, tidak terlibat aktif, dan pada akhirnya mengalami miskonsepsi atau sekadar menghafal tanpa memahami makna.

Di era Revolusi Industri 4.0, teknologi digital telah membuka peluang besar untuk menciptakan media pembelajaran yang inklusif. Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa pengembangan e-modul interaktif yang dirancang khusus untuk siswa berkebutuhan khusus masih sangat terbatas. Sebagian besar e-modul yang ada masih bersifat dua dimensi, kurang interaktif, dan belum mampu menjembatani konsep abstrak menjadi konkret. Padahal, bagi SBK, proses abstraksi merupakan hambatan utama dalam belajar sains.

Salah satu teknologi yang potensial untuk mengatasi masalah ini adalah Augmented Reality (AR). AR mampu menggabungkan dunia nyata dan dunia maya secara bersamaan dengan menampilkan objek 3D, animasi, suara, dan simulasi langsung di lingkungan sekitar siswa. Melalui AR, konsep sains yang abstrak seperti sistem tata surya, siklus air, atau struktur anatomi makhluk hidup dapat divisualisasikan secara nyata dan interaktif.

Siswa dapat melihat, memutar, bahkan "memegang" objek maya seolah-olah hadir di depan mereka. Hal ini sangat sesuai dengan prinsip pembelajaran konkret yang dibutuhkan oleh siswa berkebutuhan khusus, khususnya mereka yang berada pada tahap operasional konkret menurut teori Piaget.

Namun, hingga saat ini, pengembangan e-modul interaktif yang mengintegrasikan AR secara khusus untuk meningkatkan pemahaman konsep sains pada siswa berkebutuhan khusus belum banyak dilakukan. Sebagian besar produk AR yang ada masih bersifat umum, tidak terstruktur dalam modul pembelajaran, dan belum mempertimbangkan aspek aksesibilitas seperti teks sederhana, navigasi yang mudah, serta dukungan multimodal (visual dan audio). Oleh karena itu, diperlukan suatu produk pengembangan berupa e-modul interaktif berbasis AR yang dirancang secara sistematis dengan memerhatikan karakteristik, kebutuhan, dan hambatan belajar siswa berkebutuhan khusus secara spesifik.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti terdorong untuk melakukan penelitian pengembangan yang berjudul "Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Augmented Reality (AR) untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Sains Siswa Berkebutuhan Khusus" sebagai upaya menyediakan media pembelajaran sains yang inklusif, menarik, dan efektif.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **2.1 Hakikat E-Modul Interaktif**

#### **2.1.1. Pengertian E-Modul**

Modul elektronik (e-modul) merupakan bentuk digital dari modul cetak yang dirancang untuk memfasilitasi belajar mandiri. Menurut Sugihartini & Jayanta (2017), e-modul adalah media pembelajaran yang menyajikan materi, metode, batasan, dan cara mengevaluasi secara sistematis dalam format elektronik. E-modul bersifat self-instructional, artinya siswa dapat belajar secara mandiri tanpa ketergantungan penuh pada guru.

#### **2.1.2 Karakteristik E-Modul Interaktif**

E-modul interaktif memiliki karakteristik utama, yaitu:

- a. Interaktivitas: Terdapat umpan balik langsung terhadap aksi pengguna (klik, geser, input jawaban)
- b. Multimedia: Menggabungkan teks, gambar, audio, video, dan animasi
- c. Navigasi yang fleksibel: Pengguna dapat berpindah antar halaman atau sub-materi sesuai kebutuhan
- d. Evaluasi terintegrasi: Terdapat kuis atau latihan soal dengan umpan balik instan
- e. Menurut Prastowo (2015), e-modul yang baik harus memuat: (a) petunjuk belajar, (b) kompetensi yang akan dicapai, (c) materi pendukung, (d) latihan soal, (e) lembar kerja, dan (f) evaluasi.

## **2.2 Augmented Reality (AR) dalam Pembelajaran**

### **2.2.1 Definisi Augmented Reality**

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan objek maya dua atau tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara real-time (Azuma, 1997). Berbeda dengan Virtual Reality (VR) yang menciptakan dunia maya sepenuhnya, AR justru memperkaya dunia nyata dengan tambahan informasi digital.

### **2.2.2 Karakteristik AR dalam Pembelajaran**

Menurut Krevelen & Poelman (2010), AR memiliki tiga karakteristik utama:

- a. Kombinasi dunia nyata dan virtual
- b. Interaksi secara real-time
- c. Integrasi dalam ruang 3D

Dalam konteks pembelajaran, AR mampu:

- a. Memvisualisasikan konsep abstrak menjadi konkret
- b. Memberikan pengalaman belajar multisensori (visual, auditori, kinestetik)
- c. Meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa

### **2.2.3 Prinsip Kerja AR**

Secara teknis, AR bekerja melalui tiga tahap:

- a. Akuisisi: Kamera perangkat membaca marker (gambar khusus) atau menggunakan markerless (berbasis lokasi)
- b. Pelacakan (Tracking): Sistem melacak posisi dan orientasi marker
- c. Renderisasi: Objek 3D, animasi, atau video ditampilkan di atas marker

Untuk perangkat sederhana, AR dapat diimplementasikan menggunakan smartphone atau tablet dengan aplikasi berbasis marker detection (misalnya menggunakan Vuforia SDK).

## **2.3 Pemahaman Konsep Sains**

### **2.3.1 Pengertian Pemahaman Konsep**

Pemahaman konsep (*conceptual understanding*) adalah kemampuan siswa untuk menangkap makna, menjelaskan, menginterpretasi, dan mengaplikasikan suatu konsep dalam berbagai situasi (Anderson & Krathwohl, 2015). Dalam taksonomi Bloom yang direvisi, pemahaman berada pada level kedua setelah mengingat, mencakup:

- a. Menjelaskan (*explaining*)
- b. Memberi contoh (*exemplifying*)
- c. Mengklasifikasikan (*classifying*)
- d. Meringkas (*summarizing*)
- e. Menyimpulkan (*inferring*)
- f. Membandingkan (*comparing*)
- g. Memetakan (*mapping*)

### **2.3.2 Indikator Pemahaman Konsep Sains**

Berdasarkan teori Dahar (2011), pemahaman konsep sains dapat diukur melalui:

- a. Definisi konsep secara verbal: Siswa dapat menyebutkan definisi dengan kata-kata sendiri
- b. Identifikasi ciri-ciri: Siswa dapat menyebutkan karakteristik suatu konsep
- c. Klasifikasi: Siswa dapat membedakan contoh dan non-contoh
- d. Aplikasi: Siswa dapat menggunakan konsep dalam situasi baru
- e. Transfer: Siswa dapat menghubungkan antar konsep yang berbeda

### **2.3.3 Karakteristik Konsep Sains**

Sains memiliki karakteristik unik: banyak konsep yang bersifat abstrak, dinamis, dan melibatkan proses yang tidak kasat mata. Misalnya konsep fotosintesis, medan magnet, atau siklus batuan. Tanpa visualisasi yang tepat, siswa cenderung mengalami miskonsepsi (kesalahan konsep). Oleh karena itu, media yang dapat mengonkretkan konsep abstrak menjadi sangat krusial.

### **3. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis dan Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan jenis Research and Development (R&D) atau penelitian dan pengembangan. Menurut Borg & Gall (1983), research and development adalah proses yang digunakan untuk mengembangkan dan memvalidasi produk pendidikan. Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah e-modul interaktif berbasis Augmented Reality (AR) untuk siswa berkebutuhan khusus.

#### **3.2 Prosedur Penelitian**

**Tabel 3.2 Tahap Analisis**

Jenis Analisis	Deskripsi
Analisis kebutuhan	Observasi dan wawancara dengan guru sains di sekolah inklusif untuk mengidentifikasi masalah pembelajaran dan kebutuhan media
Analisis karakteristik siswa	Mengidentifikasi jenis hambatan (tunagrahita ringan, tuna rungu, dll), gaya belajar, dan kemampuan awal siswa berkebutuhan khusus
Analisis kurikulum	Menganalisis Capaian Pembelajaran (CP) dan Tujuan Pembelajaran (TP) mata pelajaran sains yang sesuai dengan jenjang pendidikan siswa
Analisis materi	Menentukan materi sains yang bersifat abstrak dan memerlukan visualisasi 3D (misalnya: sistem tata surya, struktur bumi, organ tubuh manusia, siklus air)
Analisis teknologi	Mengidentifikasi perangkat yang tersedia (smartphone/tablet guru dan siswa), sistem operasi, serta spesifikasi teknis untuk menjalankan AR

### 3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

**Tabel 3.3 Tempat dan waktu**

Aspek	Keterangan
Tempat penelitian	Sekolah penyelenggara pendidikan inklusif SDLB yang memiliki siswa berkebutuhan khusus
Waktu penelitian	Disesuaikan dengan jadwal penelitian semester ganjil

### 3.4 Subjek Penelitian

**Tabel 3.4 subjek penelitian**

No	Kriteria
1	Siswa berkebutuhan khusus (tunagrahita ringan, tuna rungu, atau autisme ringan)
2	Telah mendapatkan pembelajaran sains
3	Mampu mengoperasikan perangkat sentuh (smartphone/tablet) secara dasar
4	Bersedia menjadi partisipan penelitian (dengan persetujuan orang tua/wali)

Jumlah subjek:

- a. Uji coba skala kecil : 3–5 siswa
- b. Uji coba skala besar : 15–20 siswa

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini disajikan berdasarkan tahapan pengembangan model ADDIE yang telah dilaksanakan, meliputi: (1) hasil pengembangan produk, (2) hasil uji kelayakan, (3) hasil uji kepraktisan, dan (4) hasil uji efektivitas.

#### 4.1.1 Hasil Pengembangan Produk E-Modul Interaktif Berbasis AR

Produk yang dikembangkan berupa e-modul interaktif berbasis Augmented Reality (AR) untuk mata pelajaran sains pada materi "Sistem Tata Surya" untuk siswa berkebutuhan khusus.

**Tabel 4.1.1 Spesifikasi produk**

Komponen	Deskripsi
Format	Aplikasi berbasis Android (APK) atau HTML5 yang dapat diakses via smartphone/tablet
Ukuran file	± 50–100 MB
Bahasa	Indonesia sederhana, dilengkapi audio narasi
Target pengguna	Siswa berkebutuhan khusus tunagrahita ringan, tuna rungu, autisme ringan
Materi	Mengenal Planet dalam Tata Surya

**Tabel 4.1.1 Struktur e-modul**

Bagian	Konten
Halaman cover	Judul modul, petunjuk penggunaan, tombol mulai
Petunjuk penggunaan	Cara mengakses AR, navigasi tombol, ikon-ikon yang digunakan
Kompetensi	Capaian Pembelajaran (CP) dan Tujuan Pembelajaran (TP)
Materi 1	Teks singkat + gambar + marker AR untuk visualisasi 3D konsep
Materi 2	Teks singkat + gambar + marker AR untuk visualisasi 3D konsep
Latihan soal	5–10 soal interaktif dengan umpan balik instan
Rangkuman	Ringkasan materi dalam bentuk poin-poin sederhana
Evaluasi akhir	Soal posttest (10–15 soal)

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pembahasan Hasil Pengembangan Produk

Produk e-modul interaktif berbasis AR yang dikembangkan dirancang khusus untuk mengakomodasi kebutuhan belajar siswa berkebutuhan khusus. Beberapa keunggulan produk dibandingkan media konvensional antara lain:

#### a. Konkretisasi konsep abstrak melalui AR

Sains memiliki banyak konsep abstrak. Melalui AR, konsep seperti pergerakan planet, struktur bumi, atau siklus air divisualisasikan dalam bentuk objek 3D yang dapat dilihat dari berbagai sudut. Hal ini sejalan dengan teori perkembangan kognitif Piaget bahwa siswa berkebutuhan khusus masih berada pada tahap operasional konkret sehingga memerlukan benda nyata atau representasi visual yang mendekati nyata untuk memahami konsep (Piaget, 1970).

#### b. Aksesibilitas multimodal

Produk ini menyediakan teks sederhana, audio narasi, dan visual 3D secara bersamaan. Hal ini mengakomodasi:

- 1) Siswa tunarungu: Mengandalkan teks dan visual tanpa audio
- 2) Siswa tunagrahita: Teks pendek dengan kalimat sederhana dan visual 3D yang jelas
- 3) Siswa autisme: Struktur visual yang konsisten dan dapat diprediksi

Pendekatan ini sesuai dengan prinsip Universal Design for Learning (UDL) yang menekankan penyediaan multiple means of representation (Rose & Meyer, 2002).

### 4.2.2 Ringkasan Hasil Penelitian

**Tabel 4.2.2 Ringkasan hasil penelitian**

Aspek	Hasil	Kesimpulan
Kelayakan	90,63% (Sangat Layak)	Produk valid dan siap uji coba
Kepraktisan (guru)	83,3% (Sangat Praktis)	Mudah digunakan guru
Kepraktisan (siswa)	88,0% (Sangat Praktis)	Mudah dan menarik bagi SBK
Efektivitas	N-Gain 0,578 (Sedang), peningkatan signifikan	E-modul AR efektif meningkatkan pemahaman konsep sains SBK

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

#### **a. Produk E-Modul Interaktif Berbasis AR Berhasil Dikembangkan**

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan produk berupa e-modul interaktif berbasis Augmented Reality (AR) untuk mata pelajaran sains pada materi Sistem Tata Surya yang diperuntukkan bagi siswa berkebutuhan khusus. Produk dikembangkan menggunakan model ADDIE yang terdiri atas lima tahap, yaitu analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Produk memiliki fitur unggulan berupa visualisasi objek tiga dimensi melalui pemindaian marker, navigasi yang sederhana dengan tombol berukuran besar, teks pendek yang dilengkapi dengan audio narasi, serta latihan soal interaktif yang memberikan umpan balik instan. Seluruh fitur dirancang secara khusus untuk mengakomodasi keberagaman gaya belajar dan hambatan yang dimiliki oleh siswa berkebutuhan khusus, seperti tunagrahita ringan, tuna rungu, dan autisme ringan.

#### **b. E-Modul Interaktif Berbasis AR Memenuhi Kriteria Sangat Layak**

Hasil validasi oleh para ahli menunjukkan bahwa e-modul interaktif berbasis AR yang dikembangkan dinyatakan sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran sains untuk siswa berkebutuhan khusus. Ahli media memberikan penilaian sangat layak dengan alasan tampilan yang sederhana namun menarik, navigasi yang konsisten, serta kualitas objek AR yang stabil dan jelas. Ahli materi menyatakan sangat layak karena materi yang disajikan telah sesuai dengan Capaian Pembelajaran, konsep disederhanakan tanpa menghilangkan esensi keilmuan, dan dilengkapi dengan contoh-contoh konkret dalam kehidupan sehari-hari.

Ahli bahasa memberikan penilaian sangat layak karena penggunaan kalimat aktif yang pendek, pemilihan kata yang mudah dipahami, serta penghindaran istilah asing yang tidak perlu. Ahli pendidikan khusus juga menyatakan sangat layak karena produk telah mempertimbangkan aspek aksesibilitas bagi berbagai jenis hambatan, seperti kontras warna yang tinggi, ukuran font yang besar, serta penyediaan teks dan audio secara

bersamaan. Secara keseluruhan, rata-rata persentase kelayakan mencapai 90,63 persen dengan kategori sangat layak, sehingga produk siap untuk diuji cobakan kepada siswa.

### **c. E-Modul Interaktif Berbasis AR Memenuhi Kriteria Sangat Praktis**

Hasil uji kepraktisan menunjukkan bahwa e-modul interaktif berbasis AR sangat praktis digunakan dalam pembelajaran sains bagi siswa berkebutuhan khusus. Penilaian dari guru mencakup aspek kemudahan menginstal dan mengakses e-modul, kejelasan petunjuk penggunaan, kemampuan AR dalam membantu siswa memahami konsep abstrak, serta kemudahan guru dalam membimbing siswa selama proses pembelajaran berlangsung. Guru menilai bahwa produk ini memudahkan mereka dalam menyampaikan materi yang sebelumnya sulit divisualisasikan karena keterbatasan alat peraga fisik.

Respons dari siswa juga sangat positif, di mana mereka menyatakan bahwa e-modul mudah digunakan, tampilan gambarnya yang muncul dalam bentuk tiga dimensi sangat menarik, tulisan dan tombol mudah dilihat, serta suara narasi membantu mereka dalam belajar. Hasil observasi keterlaksanaan pembelajaran menunjukkan bahwa sebagian besar siswa antusias saat menggunakan fitur AR, dan sebagian besar dari mereka mampu mengoperasikan e-modul secara mandiri tanpa bantuan guru. Secara keseluruhan, rata-rata persentase kepraktisan dari guru mencapai 83,3 persen dan dari siswa mencapai 88,0 persen, keduanya termasuk dalam kategori sangat praktis.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan, serta keterbatasan yang ditemukan selama proses penelitian, berikut dikemukakan beberapa saran yang ditujukan kepada berbagai pihak.

### **5.2.1 Saran bagi Guru dan Praktisi Pendidikan Inklusif**

Guru sains di sekolah penyelenggara pendidikan inklusif disarankan untuk menggunakan e-modul interaktif berbasis AR sebagai alternatif media pembelajaran, terutama untuk materi-materi sains yang bersifat abstrak dan sulit divisualisasikan dengan media konvensional. Guru hendaknya terlebih dahulu mempelajari petunjuk penggunaan e-modul secara menyeluruh sebelum mengimplementasikannya di kelas. Guru juga disarankan untuk memfasilitasi siswa secara bergantian dalam menggunakan perangkat yang tersedia, mengingat tidak semua sekolah memiliki perangkat dalam jumlah yang cukup. Bagi siswa yang belum terbiasa dengan teknologi sentuh, guru dapat memberikan pendampingan awal secara individual hingga siswa mampu menggunakan e-modul secara

mandiri. Selain itu, guru sebaiknya mencetak marker AR pada kertas yang cukup tebal dan melaminasi agar lebih tahan lama, atau menampilkan marker pada layar perangkat kedua jika memungkinkan.

### **5.2.2 Saran bagi Pengembang Media Pembelajaran**

Bagi peneliti atau pengembang media pembelajaran yang akan mengembangkan produk serupa di masa mendatang, disarankan untuk memperhatikan beberapa hal penting. Pertama, libatkan ahli pendidikan khusus sejak tahap awal desain agar produk benar-benar sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan siswa berkebutuhan khusus. Kedua, lakukan uji coba produk pada spektrum hambatan yang lebih luas, misalnya siswa dengan hambatan penglihatan (tunanetra) atau hambatan fisik, dengan menambahkan fitur-fitur yang sesuai seperti voice over atau kontrol suara. Ketiga, pertimbangkan untuk mengembangkan versi e-modul dengan teknologi AR tanpa marker (markerless) berbasis lokasi atau objek recognition agar siswa tidak perlu repot mencetak marker. Keempat, tambahkan fitur pelacakan kemajuan belajar siswa yang dapat diakses oleh guru untuk memantau perkembangan pemahaman konsep setiap siswa secara individual.

### **5.2.3 Saran bagi Kepala Sekolah dan Lembaga Pendidikan**

Kepala sekolah di lembaga pendidikan inklusif disarankan untuk mendukung pemanfaatan teknologi AR dalam pembelajaran dengan menyediakan sarana dan prasarana yang memadai. Hal ini meliputi pengadaan perangkat smartphone atau tablet dengan spesifikasi minimal RAM 2 gigabyte dan kualitas kamera minimal 8 megapiksel agar proses pemindaian marker AR berjalan lancar. Sekolah juga dapat mengalokasikan anggaran untuk pelatihan guru dalam mengembangkan dan menggunakan media pembelajaran berbasis teknologi digital. Selain itu, sekolah dapat menjadikan pengembangan e-modul interaktif berbasis AR sebagai salah satu program inovasi pembelajaran dalam rangka meningkatkan kualitas layanan pendidikan bagi siswa berkebutuhan khusus.

### **5.2.4 Saran bagi Peneliti Selanjutnya**

Penelitian ini masih memiliki berbagai keterbatasan, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menyempurnakan dan memperluas temuan yang telah diperoleh. Beberapa arah penelitian yang disarankan antara lain sebagai berikut.

- a. Pertama, lakukan penelitian dengan subjek yang lebih besar dan beragam, misalnya melibatkan lebih dari satu sekolah inklusif dengan jumlah siswa yang lebih banyak, serta mencakup jenis hambatan yang lebih bervariasi seperti hambatan fisik atau hambatan intelektual sedang. Hal ini akan meningkatkan generalisasi hasil penelitian.
- b. Kedua, uji cobakan e-modul interaktif berbasis AR pada materi sains yang berbeda, misalnya materi struktur bumi, sistem pencernaan manusia, ekosistem, atau listrik dinamis. Hal ini penting untuk mengetahui apakah efektivitas AR juga terjadi pada topik-topik sains lainnya atau hanya terbatas pada materi tertentu.
- c. Ketiga, lakukan penelitian komparatif yang membandingkan efektivitas e-modul berbasis AR dengan media pembelajaran lainnya, misalnya dengan video animasi dua dimensi atau dengan alat peraga fisik konvensional. Penelitian semacam ini akan memberikan bukti empiris yang lebih kuat mengenai keunggulan relatif media AR dibandingkan media lain.

#### **DAFTAR REFERENSI**

- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Piaget, J. (1970). *The Science of Education and the Psychology of the Child*. New York: Orion Press.
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning*. Alexandria, VA: ASCD.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
- Prastowo, A. (2015). *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press.
- Hallahan, D. P., Kauffman, J. M., & Pullen, P. C. (2012). *Exceptional Learners: An Introduction to Special Education (12th ed.)*. Boston: Pearson.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2015). *Kerangka Landasan untuk Pembelajaran, Pengajaran, dan Asesmen (Revisi Taksonomi Bloom)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Gulboy, E., & Denizli-Gulboy, H. (2025). Evaluating Augmented Reality to Teach Science for Secondary Students with Intellectual Disability. *Journal of Special Education*, 59(1), 3-15.

- Arsyad, M., Apriansyah, D., Awaludin, D. T., Khasanah, K., & Prasetyo, P. (2025). Augmented Reality (AR) Integration in STEM Learning: An Experimental Study on Students with Special Needs. *IJEDINS*, 1(1).
- Angreni, S., Sari, R. T., & Masyitah, I. (2023). Development of Augmented Learning Media Reality for Students Learning Difficulties in Elementary School. *Journal of ICSAR*, 7(2), 271-279.
- Abiddin, S. K. (2024). Pengembangan E-Modul Berbasis Augmented Reality untuk Pembelajaran IPAS Materi Sistem Tata Surya Kelas VI Sekolah Dasar (Tesis Magister). Universitas Muria Kudus.
- Wulandari, S. (2025). Pengaruh Pelaksanaan Pembelajaran Berbasis Media Augmented Reality (AR) terhadap Minat Belajar Matematika Siswa Kelas V SDN 16 Baringin (Skripsi). UIN Mahmud Yunus Batusangkar.
- Tim Peneliti Undika. (2025). Flanatomy: Puzzle 3D Augmented Reality untuk Pembelajaran Biologi Inklusif. Diseminasi Hasil Penelitian. Surabaya: Universitas Dinamika.
- Hake, R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Scores. Department of Physics, Indiana University.
- Riduwan. (2015). Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian. Bandung: Alfabeta.