

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *research and development* dengan mengikuti model ADDIE (*Analyze, Design, Developement, Implementation, Evaluation*). Model pengembangan ADDIE efektif dalam pengembangan produk karena diberikan kerangka untuk menanggapi kompleksitas lingkungan belajar dengan merespons berbagai situasi dan konteks (Branch, 2009). Penelitian ini akan menghasilkan modul belajar elektronik (e-modul) berbasis AR yang dengan menggunakan instrumen penilaian terdiri dari: (1) kevalidan oleh ahli materi, desain, dan media; (2) kepraktisan oleh guru fisika; (3) kepraktisan dari respons siswa; dan (4) keefektifan melalui pretest-posttest. Instrumen keefektifan menggunakan soal uraian berbasis indikator keterampilan berpikir kritis Facione (2011), yaitu *interpretation, analysis, evaluation, inference, explanation, and self-regulation*.

4.1.1 Hasil Pada Tahap *Analysis* (Analisis)

Hasil analisis pada tahap awal model ADDIE mencakup analisis kurikulum dan analisis kebutuhan siswa. Analisis kurikulum dilakukan berdasarkan Kurikulum 2013 Revisi, khususnya Kompetensi Dasar (KD) 3.11 dan 4.11 tentang Induksi Elektromagnetik. Materi ini dipilih karena bersifat abstrak dan konseptual, sehingga sering menimbulkan kesulitan dalam pemahaman jika disampaikan tanpa bantuan media visual atau interaktif. Hasil analisis ini digunakan untuk merumuskan indikator pencapaian kompetensi yang sesuai dengan karakteristik materi dan kebutuhan belajar siswa.

Hasil analisis kebutuhan siswa menunjukkan bahwa 87,5% siswa memerlukan bahan ajar yang interaktif, menarik, dan mudah dipahami. Hal ini didukung oleh data yang menunjukkan minat belajar berada pada kategori sedang (57,5%), pemahaman konsep rendah (37,5%), dan metode pembelajaran yang masih dominan konvensional (85%) meskipun dianggap cukup efektif. Temuan ini

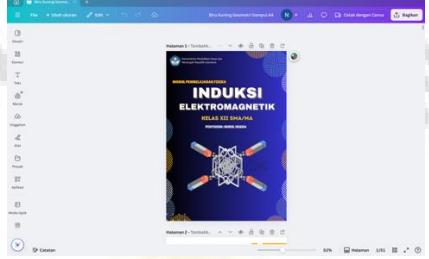
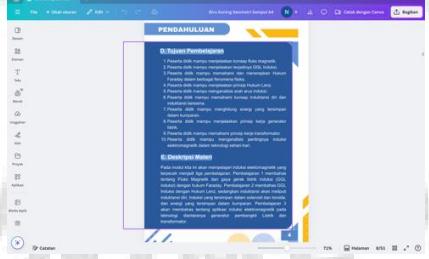
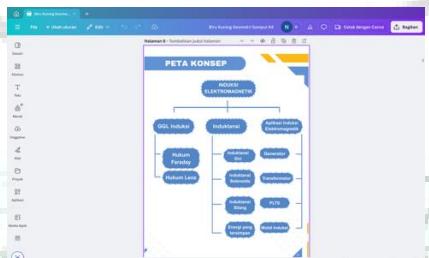
menunjukkan adanya kebutuhan mendesak akan media pembelajaran yang lebih kontekstual dan sesuai dengan karakteristik siswa.

Kebutuhan ini diperkuat oleh hasil penelitian (Sahin, 2020) yang menunjukkan bahwa siswa merasa senang menggunakan media AR dan tidak mengalami kecemasan saat menggunakannya. Bahkan, penggunaan AR berkorelasi positif secara signifikan dengan peningkatan prestasi akademik dan sikap belajar siswa. Selain itu, (Garzón, 2020) dalam meta-analisisnya terhadap 46 studi kuantitatif menyimpulkan bahwa teknologi AR memberikan dampak sedang terhadap peningkatan hasil belajar siswa, dengan catatan bahwa efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh pendekatan pedagogis yang diterapkan. Hal ini mendukung penggunaan AR sebagai solusi terhadap rendahnya pemahaman konsep dan kurangnya ketertarikan siswa terhadap materi abstrak seperti induksi elektromagnetik. Lebih lanjut, (Ari dan Bramastia, 2021) menegaskan bahwa media AR efektif dalam melatih keterampilan berpikir kritis siswa, yang terdiri atas kemampuan analisis, interpretasi, sintesis, dan evaluasi—keterampilan yang sangat dibutuhkan di abad ke-21. Seluruh hasil riset ini menguatkan bahwa pengembangan e-modul berbasis AR yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan respon yang tepat terhadap kebutuhan *riil* siswa

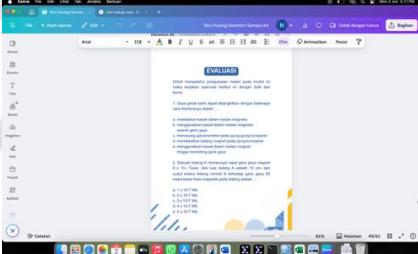
4.1.2 Hasil Pada Tahap *Design* (Desain)

Hasil tahap desain menghasilkan rancangan awal produk berupa e-modul berbasis AR yang disusun secara sistematis dan terstruktur. Produk ini mencakup pemilihan media pembelajaran yang tepat, penyusunan materi sesuai Kurikulum 2013 Revisi, perancangan bahasa yang komunikatif sesuai standar BSNP dan kaidah PUEBI, pengembangan *Storyboard* sebagai panduan alur visual. E-modul dirancang menggunakan Canva dan Heyzine Flip Book untuk menciptakan tampilan yang menarik dan mudah diakses oleh siswa, sementara visualisasi AR dikembangkan melalui Blender dan Unity, lalu diintegrasikan ke dalam platform AssemblerEdu. Secara detail, *Storyboard* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Desain E-modul Berbasis AR

No	Komponen Modul	Tampilan	Keterangan
1.	Cover modul		Identitas e-modul: judul, mata pelajaran, kelas, penulis, logo kemendikdasmen.
2.	Petunjuk Penggunaan Modul		Tata cara penggunaan e-modul dan fitur AR
3.	Tujuan & Indikator Pembelajaran		Kompetensi yang ingin dicapai berdasarkan KD Fisika Kelas XII
4.	Peta Konsep		Diagram isi modul (materi utama dan submateri)
5.	Materi 1: Induksi Elektromagnetik		Penjelasan Hukum Faraday dan fluks magnetik

No	Komponen Modul	Tampilan	Keterangan
6.	Materi 2: GGL Induksi & Hukum Faraday		Aplikasi Hukum Lenz secara konseptual dan matematis
7.	Materi 3: GGL Induksi & Aplikasinya		Contoh aplikasi GGL induksi pada generator dan transformator
8.	Simulasi AR		Scan marker
9.	Refleksi & Penutup		Soal pilihan ganda dan uraian berbasis HOTS
10.	Simulasi AR		Scan marker

No	Komponen Modul	Tampilan	Keterangan
11.	Refleksi & Penutup		Soal pilihan ganda dan uraian berbasis HOTS

E-modul yang baik dalam pembelajaran harus memenuhi tiga kriteria utama, yaitu valid, praktis, dan efektif. Menurut (Nieveen, 1999), validitas e-modul ditentukan oleh kesesuaian isi dengan kurikulum, keakuratan konsep ilmiah, serta kelayakan penyajian dan bahasa. Modul yang valid harus mampu merepresentasikan materi secara benar dan dapat diterima secara ilmiah maupun pedagogis. Selain itu, e-modul juga harus praktis, artinya dapat digunakan dengan mudah oleh guru dan peserta didik. (Borg dan Gall, 1983) menyatakan bahwa kepraktisan suatu media pembelajaran tercermin dari kemudahan penggunaannya, tidak memerlukan pendampingan ahli, serta mendapat respons positif dari pengguna. Di sisi lain, efektivitas e-modul terlihat dari kemampuannya dalam meningkatkan hasil belajar dan membantu pencapaian tujuan instruksional. Dick dan (Carey. 2005) mengemukakan bahwa media pembelajaran yang efektif dapat dibuktikan melalui peningkatan performa peserta didik dalam evaluasi pembelajaran serta adanya dampak positif terhadap motivasi belajar. Oleh karena itu, pengembangan e-modul harus mempertimbangkan ketiga aspek tersebut agar dapat memberikan kontribusi maksimal dalam proses pembelajaran.

4.1.3 Hasil Pada Tahap *Development* (Pengembangan)

Hasil tahap pengembangan menunjukkan bahwa e-modul berbasis AR berhasil dikembangkan menggunakan perangkat lunak pendukung seperti Canva untuk merancang tampilan e-modul *digital*, serta Unity dan Blender untuk mengembangkan fitur AR. E-modul dirancang agar dapat diakses melalui perangkat *Android*, dengan antarmuka yang responsif dan mudah digunakan. Produk akhir memuat berbagai komponen pembelajaran, seperti materi dalam

bentuk teks, video pembelajaran, contoh soal, latihan soal, dan fitur pemindaian marker yang menampilkan simulasi AR. Seluruh elemen ini dikembangkan secara terpadu untuk membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak pada materi Induksi Elektromagnetik secara visual dan dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif serta meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam proses pembelajaran.

4.1.3.1 Validasi Produk oleh Ahli

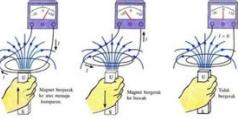
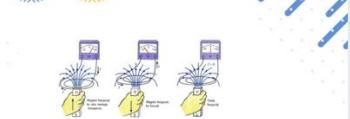
Setelah produk awal selesai dikembangkan, dilakukan proses validasi oleh para ahli guna menilai kelayakan isi, tampilan, dan media yang digunakan. Validator yang terlibat terdiri dari enam orang dosen ahli, dengan rincian sebagai berikut:

- a. 2 orang ahli materi, yang menilai kesesuaian konten e-modul dengan kompetensi dasar, keakuratan konsep, dan keterkaitannya dengan tujuan pembelajaran.

Berdasarkan masukan dari validator pertama, dilakukan beberapa revisi penting, di antaranya perincian tujuan pembelajaran agar lebih spesifik dan selaras dengan indikator keterampilan berpikir kritis, seperti kemampuan menganalisis dan mengevaluasi informasi. Selain itu, penulisan rumus didahului dengan kalimat pengantar untuk memberikan konteks dan pemahaman awal kepada siswa. Contoh soal juga direvisi agar lebih menekankan pada pengembangan keterampilan berpikir kritis melalui penggunaan kalimat tersirat yang mendorong siswa untuk menganalisis secara lebih mendalam. Setiap gambar yang disajikan dalam e-modul juga telah dilengkapi dengan penjelasan agar tidak menimbulkan multitafsir dan memperkuat pemahaman konsep.

Berdasarkan saran dari validator kedua struktur e-modul direvisi dengan menambahkan minimal satu contoh soal setelah setiap sub materi. Penambahan ini bertujuan untuk memastikan bahwa siswa memahami konsep yang dipelajari secara bertahap, sebelum melanjutkan ke contoh soal yang bersifat umum pada setiap kegiatan pembelajaran. Revisi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas e-modul dalam membangun pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir kritis siswa. Berikut disajikan tabel 4.2. perbaikan dari saran yang diberikan oleh ahli materi.

Tabel 4.2. Saran dan Perbaikan Ahli Materi

Saran	Perbaikan
<p>Tujuan pembelajaran perlu dirincikan sesuai indikator keterampilan berpikir kritis.</p>	<p>Tujuan pembelajaran diubah menjadi lebih spesifik dan sesuai indikator berpikir kritis.</p>
<p>Penulisan rumus diawali dengan kalimat pengantar.</p> <p>Secara matematis flus magnetik:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$	<p>Setiap rumus diberi pengantar konsep.</p> <p>Gambar (a) dan (b) menunjukkan konsep flus magnetik melalui suatu bidang. Secara matematis flus magnetik dirumuskan:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$ <p>Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut θ dengan garis normal maka besarnya flus magnet yang dihasilkan dapat dirumuskan:</p> $\Phi = BA \cos\theta \quad (1.2)$
<p>Contoh soal sebaiknya bersifat tersirat dan mendorong analisis.</p> <p>Contoh Soal Sebuah kumparan terdiri atas 200 lilitan dan luas penampangnya 100 cm^2. Hambatan kawat 4 Ohm. Pada setiap detik terjadi perubahan flus magnetik sebesar $0,5 \text{ WB}$. Hitunglah besar GGL induksi kumparan tersebut.</p> <p>Penyelesaian</p> <p>Diketahui:</p> $N = 200 \text{ lilitan}$ $A = 100 \text{ cm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$ $R = 4 \text{ Ohm}$ $\Delta t = 1 \text{ s}$ $\Delta\Phi = 0,5 \text{ WB}$ <p>Ditanyakan:</p> $e = ?$ <p>Jawab:</p> $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$ $e = -200 \frac{0,5}{1}$ $e = -100 \text{ Volt}$	<p>Soal-soal dikembangkan dengan pendekatan tersirat untuk memicu analisis.</p> <p>Contoh Soal Sebuah panel surya berbasis teknologi induksi elektromagnetik dirancang untuk memanfaatkan energi dari perubahan medan magnet alam di atmosfer. Panel ini terdiri dari 500 lilitan kawat yang memiliki laju efektif per lilitan $0,02 \text{ m}^2$. Panel tersebut ditempatkan pada area di mana medan magnet mengalami perubahan dari $0,3 \text{ T}$ menjadi $0,1 \text{ T}$ dalam waktu $0,05 \text{ detik}$. Sudut antara medan magnet dan normal permukaan panel adalah 0°.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Hitunglah flus magnetik awal dan flus magnetik akhir yang melalui satu lilitan! 2. Hitunglah perubahan flus magnetik untuk satu lilitan! 3. Hitunglah besar GGL rata-rata (\bar{I}) yang dihasilkan oleh seluruh panel! 4. Jelaskan secara konsep, mengapa perubahan medan magnet dapat menghasilkan energi listrik pada sistem ini?
<p>Gambar harus disertai penjelasan.</p> <p>a. Hukum Faraday Untuk membahas hukum Faraday, perhatikan gambar berikut:</p>  <p>Gambar 2.1. Gerak magnet keluar masuk kumparan akan menghasilkan GGL.</p>	<p>Gambar-gambar dilengkapi dengan penjelasan.</p>  <p>Gambar 3. Gerak magnet keluar masuk kumparan akan menghasilkan GGL.</p> <p>Gambar (a) menunjukkan bahwa ketika magnet batang digerakkan memasuki kumparan maka jarum pada galvanometer akan menyimpang ke kanan. Gambar (b) menunjukkan bahwa magnet batang dipergerakkan keluar kumparan maka jarum menyimpang ke kiri, sedangkan gambar (c) magnet tidak dipergerakkan maka jarum tidak mengalami pergesekan. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa jika magnet dipergerakkan memotong kumparan maka akan menghasilkan GGL sedangkan jika magnet diam maka tidak menghasilkan GGL.</p> <p>Percobaan ini pertama kali dilakukan oleh Michael Faraday, yang berbunyi seperti berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jika jumlah flus magnetik yang masuk/keluar dari suatu kumparan berubah maka pada ujung-ujung kumparan akan timbul GGL induksi. 2. Besar GGL induksi bergantung pada laju perubahan flus magnetik dan banyaknya lilitan pada kumparan.
<p>Setiap sub materi perlu disertai minimal satu contoh soal agar siswa memahami secara bertahap sebelum masuk ke soal umum.</p>	<p>Ditambahkan satu contoh soal setelah setiap sub materi untuk memperkuat pemahaman bertahap siswa.</p>
<p>Definisi konsep fisika yang ditampilkan masih terlalu umum dan kurang menekankan aspek makna fisis serta keterkaitannya dengan fenomena nyata dalam kehidupan sehari-hari.</p>	<p>Definisi konsep fisika dalam e-modul ini telah diperbaiki dengan menambahkan makna fisis secara lebih eksplisit serta mengaitkannya</p>

Hal ini dapat membuat siswa sulit memahami relevansi dan penerapan konsep tersebut.	dengan contoh fenomena nyata yang relevan dalam kehidupan sehari-hari.
<p>1. Fluks Magnetik</p> <p>Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus secara tegak lurus pada suatu luasan.</p>	<p>1.FLUKS MAGNETIK</p> <p>Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus suatu luasan secara tegak lurus.</p>

- b. 2 orang ahli desain pembelajaran, yang menilai alur penyajian, interaktivitas, kejelasan navigasi, dan prinsip desain instruksional dalam e-modul.

Secara umum, kedua ahli memberikan penilaian bahwa e-modul ini cukup informatif karena telah mencakup komponen penting seperti tujuan pembelajaran, teori, dan contoh soal. Namun demikian, beberapa catatan perbaikan disampaikan untuk meningkatkan kualitas modul dari aspek kebahasaan, visual, dan penyajian konsep. Validator pertama menyoroti pentingnya perbaikan tata bahasa, seperti penambahan subjek "peserta didik" sebelum kalimat "mampu" agar kalimat menjadi lebih lengkap dan jelas secara gramatikal.

Sementara itu, validator kedua memberikan masukan mengenai aspek visual, seperti perpaduan warna yang perlu disesuaikan agar lebih nyaman dipandang, penggunaan kalimat yang lebih sederhana namun tetap sesuai dengan makna konsep fisika, serta penataan gambar agar tidak terlalu memenuhi satu halaman. Beliau juga menyarankan agar pemblokkan warna pada sub materi dihindari karena dapat mengganggu keterbacaan. Masukan dari kedua ahli desain ini kemudian dijadikan dasar untuk melakukan revisi tampilan dan penyajian agar e-modul lebih efektif, menarik, dan mudah digunakan oleh peserta didik. Berikut disajikan tabel 4.3. perbaikan dari saran yang diberikan oleh ahli desain.

Tabel 4.3. Saran dan Perbaikan Ahli Desain

Saran	Perbaikan
Modul sudah cukup informatif (tujuan, teori, contoh soal).	Kalimat-kalimat dalam tujuan pembelajaran direvisi agar lebih sistematis dan sesuai kaidah bahasa Indonesia baku.
Perlu perbaikan tata bahasa, misalnya menambahkan frasa "peserta didik" sebelum kata "mampu".	Ditambahkan subjek "peserta didik" dalam pernyataan tujuan untuk memperjelas sasaran.

Saran	Perbaikan
<p>D. Tujuan Pembelajaran</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Mampu mengidentifikasi fluks magnetik dan Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi 2) Mampu menganalisis konsep Hukum Faraday, Hukum Lenz, dan Induktansi diri (imbasan) 3) Mampu mengidentifikasi dan menganalisis fenomena induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari 4) Mampu melakukan percobaan dan mempresentasikan percobaan (simulasi virtual) tentang induksi elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari 	<p>PENDAHULUAN</p> <p>D. Tujuan Pembelajaran</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Peserta didik mampu menjelaskan konsep fluks magnetik. 2. Peserta didik mampu menjelaskan terjadinya GGL Induksi. 3. Peserta didik mampu memahami dan menerapkan Hukum Faraday dalam berbagai fenomena fisika. 4. Peserta didik mampu menjelaskan prinsip Hukum Lenz. 5. Peserta didik mampu menganalisis arah arus induksi. 6. Peserta didik mampu memahami konsep induktansi diri dan induktansi bersama. 7. Peserta didik mampu menghitung energi yang tersimpan dalam kumparan. 8. Peserta didik mampu menjelaskan prinsip kerja generator listrik. 9. Peserta didik mampu memahami prinsip kerja transformator. 10. Peserta didik mampu menganalisis pentingnya induksi elektromagnetik dalam teknologi sehari-hari.
<p>Perlu penyederhanaan kalimat agar tetap mudah dipahami tanpa mengubah makna fisika.</p> <p>1. Fluks Magnetik</p> <p>Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus secara tegak lurus pada suatu luasan.</p> <p>Gambar 1. Fluks magnetik</p> <p>(sumber: https://play.google.com/books/reader?id=uCfEAAAQBAJ&pg=GBS.PA244)</p> <p>Secara matematis fluks magnetik:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$ <p>Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut teta dengan garis normal maka besarnya fluks magnet yang dihasilkan adalah</p> $\Phi = BA \cos \theta \quad (1.2)$ <p>dengan:</p> <p>Φ : Fluks magnet (Wb) B : induksi magnet (Wb/m² atau T) A : luas bidang (m²)</p>	<p>Beberapa kalimat penjelasan dan contoh soal disederhanakan tanpa mengurangi esensi fisika.</p> <p>1. FLUKS MAGNETIK</p> <p>Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus suatu luasan secara tegak lurus.</p> <p>Gambar 1. Fluks magnetik</p> <p>(sumber: https://play.google.com/books/reader?id=uCfEAAAQBAJ&pg=GBS.PA244)</p> <p>Gambar (a) dan (b) menunjukkan konsep fluks magnetik melalui suatu bidang. Secara matematis fluks magnetik dirumuskan:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$ <p>Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut teta dengan garis normal maka besarnya fluks magnet yang dihasilkan dapat dirumuskan:</p> $\Phi = BA \cos \theta \quad (1.2)$ <p>dengan:</p> <p>Φ : Fluks magnet (Wb) B : induksi magnet (Wb/m² atau T) A : luas bidang (m²) θ : sudut antara vektor B dengan arah garis normal A</p>
<p>Penataan gambar dalam satu halaman agar tidak terlalu padat.</p> <p>Visualisasi AR Hukum Faraday dengan Galvanometer</p> <p>Percoobaan ini pertama kali dilakukan oleh Michael Faraday seiring kesimpulan percobaannya dikenal dengan Hukum Faraday, yang berbunyi seperti berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bila suatu kumparan bergerak di dekat sumber induksi magnet, maka pada sisi-sisi kumparan akan timbul GGL induksi. 2. Bila GGL induksi bergerak pada laju perubahan fluks magnetik dan berorientasi sama dengan arah pergerakan kumparan, maka pada sisi-sisi kumparan akan timbul arus. <p>Visualisasi AR Hukum Faraday dengan Galvanometer</p> <p>SCAN ME!</p> <p>TEKNIK KELAS 12 Induksi Elektromagnetik Fluks Magnetik dan GGL Induksi</p> <p>Video Pembelajaran Pendukung</p> <p>Ketika suatu kumparan yang bergerak di dekat sisi N iliran kuarsa berada dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka perubahan fluks magnetik yang melalui kumparan tersebut akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Fenomena ini didekripsi oleh Hukum Faraday tentang Induktansi dan GGL. Jika suatu kumparan bergerak di dekat sumber induksi magnet, maka pada sisi-sisi kumparan berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik terhadap waktu, dan dirumuskan sebagai:</p>	<p>Gambar-gambar ditata ulang agar lebih proporsional dan tidak memenuhi halaman.</p> <p>Visualisasi AR Hukum Faraday dengan Galvanometer</p> <p>SCAN ME!</p> <p>Halaman 14 - Tambahkan Judul ...</p> <p>Induksi Elektromagnetik</p> <p>Video Pembelajaran Pendukung</p> <p>Ketika suatu kumparan yang bergerak di dekat sisi N iliran kuarsa berada dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka perubahan fluks magnetik yang melalui kumparan tersebut akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Fenomena ini didekripsi oleh Hukum Faraday tentang Induktansi dan GGL. Jika suatu kumparan bergerak di dekat sumber induksi magnet, maka pada sisi-sisi kumparan berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik terhadap waktu, dan dirumuskan sebagai:</p>
<p>Pemblokkan warna pada sub materi sebaiknya dihindari.</p>	<p>Pemblokkan warna pada sub materi dihilangkan untuk menjaga kenyamanan visual.</p>

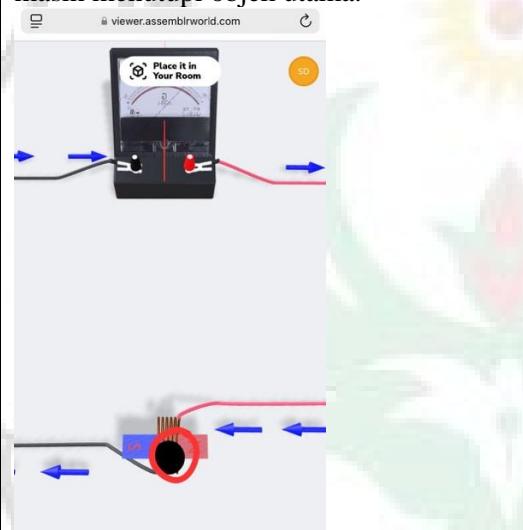
Saran	Perbaikan
<p>1. Fluks Magnetik Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus suatu lausan secara tegak lurus.</p>  <p>(sumber: https://tinyurl.google.com/bookreader?url=CfCEAAQBAJ&page=GBS.PA249)</p> <p>Gambar (a) dan (b) menunjukkan konsep fluks magnetik melalui suatu bidang. Secara matematis fluks magnetik dirumuskan:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$ <p>Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut tetap dengan garis normal maka besarnya fluks magnet yang dihasilkan dapat dirumuskan:</p> $\Phi = BA \cos \theta \quad (1.2)$ <p>dengan:</p> <ul style="list-style-type: none"> Φ : Fluks magnet (Wb) B : induksi magnet (Wb/m² atau T) A : laas bidang (m²) θ : sudut antara vektor B dengan arah garis normal A <p>Visualisasi AR Fluks Magnetik melalui bidang</p> <p>SCAN ME!</p> <p>2. GGL Induksi Perulangan Fluks magnetik masih ada di kunci dan belum memposisikan</p>	<p>1. FLUKS MAGNETIK Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus suatu lausan secara tegak lurus.</p>  <p>(sumber: https://tinyurl.google.com/bookreader?url=CfCEAAQBAJ&page=GBS.PA249)</p> <p>Gambar (a) dan (b) menunjukkan konsep fluks magnetik melalui suatu bidang. Secara matematis fluks magnetik dirumuskan:</p> $\Phi = BA \quad (1.1)$ <p>Faktanya, induksi magnet B tidak selalu tegak lurus pada bidang, bisa membentuk sudut tertentu. Misalkan ada sebuah induksi medan magnet yang membentuk sudut tetap dengan garis normal maka besarnya fluks magnet yang dihasilkan dapat dirumuskan:</p> $\Phi = BA \cos \theta \quad (1.2)$ <p>dengan:</p> <ul style="list-style-type: none"> Φ : Fluks magnet (Wb) B : induksi magnet (Wb/m² atau T) A : laas bidang (m²) θ : sudut antara vektor B dengan arah garis normal A
Perlu peningkatan harmonisasi warna.	Perpaduan warna disesuaikan dengan prinsip kontras dan keterbacaan.

- c. 2 orang ahli media, yang menilai kualitas visual, kesesuaian media yang digunakan, dan aspek teknis dari penerapan AR.

Berdasarkan komentar dari validator pertama, pengaksesan terhadap contoh simulasi masih membutuhkan waktu yang cukup lama melalui MyWebAR, sehingga perlu dilakukan optimalisasi agar lebih responsif. Selain itu, beberapa penempatan konten dinilai belum tepat dan perlu ditata ulang agar lebih sistematis dan nyaman diakses oleh pengguna.

Sementara itu, validator kedua menyampaikan bahwa keterangan nomor urut pada tampilan AR masih menutupi objek utama, sehingga mengganggu fokus visual siswa. Beliau juga menyarankan agar penyajian materi pada subtopik Hukum Lenz diperluas dengan teori yang lebih mendalam, agar pemahaman siswa terhadap konsep fisika semakin kuat. Secara keseluruhan, e-modul ini dinilai layak dan disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut dalam penelitian berikutnya sebagai media pembelajaran inovatif berbasis teknologi. Berikut disajikan tabel 4.4. perbaikan dari saran yang diberikan oleh ahli media.

Tabel 4.4. Saran dan Perbaikan Ahli Media

Saran	Perbaikan
<p>Akses terhadap simulasi masih membutuhkan waktu lama.</p> <p>Penempatan beberapa konten dirasa kurang tepat dalam tampilan antarmuka.</p>	<p>Optimasi ukuran dan format file simulasi agar lebih cepat diakses.</p> <p>Penempatan konten dalam e-modul dan tampilan AR ditata ulang agar lebih logis dan terstruktur.</p>
<p>Keterangan nomor urut pada tampilan AR masih menutupi objek utama.</p> 	<p>Nomor urut pada tampilan AR dipindahkan ke posisi yang tidak mengganggu objek utama.</p> 
<p>Teori Hukum Lenz perlu disajikan lebih mendalam.</p> 	<p>Materi Hukum Lenz diperluas dengan tambahan penjelasan dan ilustrasi pendukung.</p> 
<p>E-modul layak digunakan dan disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut dalam penelitian berikutnya.</p> <p>Beberapa konten AR belum merujuk pada keterampilan berpikir kritis.</p>	<p>Saran penggunaan untuk penelitian lanjutan dicatat sebagai potensi pengembangan selanjutnya.</p> <p>Konten AR sudah ditambahkan untuk variasi lain sehingga merujuk pada keterampilan berpikir kritis (contoh ketika magnet digerakkan dengan variasi cepat/lambat)</p>



Para ahli menilai e-modul berbasis AR melalui angket yang sudah diberikan. Modul pembelajaran yang sudah direvisi, kemudian dinilai oleh para ahli dengan mengisi lembar validasi yang berisi sejumlah pernyataan untuk dinilai menggunakan skala likert 1–5. Hasil validasi materi ditunjukkan pada tabel 4.5 dan lebih lengkapnya pada lampiran 14.

Tabel 4.5. Hasil Validasi Ahli Materi

No	Aspek Penilaian	Skor Penilaian		Skor rata-rata	Kategori
		V1	V2		
1.	Kelayakan isi	4,57	4,71	4,64	Sangat valid
2.	Keakuratan materi	4,50	4,33	4,42	Sangat valid
3.	Kebahasaan	4,40	4,40	4,40	Sangat valid
4.	Penyajian	4,67	4,67	4,67	Sangat valid
5.	Keterampilan berpikir kritis	4,80	4,60	4,70	Sangat valid
Rata-rata keseluruhan aspek				4,57	Sangat valid

Penilaian produk oleh validator ahli materi berdasarkan tabel penilaian menunjukkan bahwa secara keseluruhan diperoleh skor rata-rata 4,57. Berdasarkan kriteria kategori kevalidan pada tabel 3.1., produk tersebut termasuk dalam kategori “sangat valid”. Para ahli memberikan kesimpulan bahwa produk pengembangan ini sangat layak untuk digunakan sebagai e-modul berbasis AR. Adapun catatan, kritik, dan saran dari validator terhadap aspek materi, kebahasaan, penyajian, dan keterampilan berpikir kritis dapat dilihat pada tabel 4.2.

Penilaian kedua ditujukan kepada dua orang dosen ahli desain dengan lembar penilaian berupa angket. Hasil validasi desain yang telah dinilai oleh ahli desain terdapat pada lampiran 15. Sedangkan untuk rekapitulasi rata-rata skor penilaian e-modul berbasis AR ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Validasi Ahli Desain

No	Aspek Penilaian	Skor Penilaian		Skor rata-rata	Kategori
		V1	V2		
1.	Tampilan desain layout	4,00	4,50	4,25	Sangat valid
2.	Kemudahan penggunaan	4,75	4,75	4,75	Sangat valid
3.	Konsistensi	4,00	4,33	4,17	Valid
4.	Kegrafikan	4,33	4,50	4,42	Sangat valid
5.	Kebermanfaatan	4,00	4,25	4,13	Valid
Rata-rata skor keseluruhan aspek		4,35		Sangat valid	

Penilaian produk oleh validator ahli desain berdasarkan tabel penilaian menunjukkan bahwa secara keseluruhan diperoleh skor rata-rata 4,35. Berdasarkan kriteria kategori kelayakan pada tabel 3.1, produk tersebut termasuk dalam kategori “sangat valid”. Para ahli memberikan kesimpulan bahwa produk e-modul berbasis AR ini sangat valid untuk digunakan dengan beberapa aspek seperti tampilan desain *layout*, kemudahan penggunaan, kegrafikan mendapat penilaian “sangat valid”, sedangkan aspek konsistensi dan kebermanfaatan masuk dalam kategori “valid”. Adapun catatan, kritik, dan saran dari validator terhadap aspek-aspek produk dapat dilihat pada tabel 4.3.

Penilaian ketiga ditujukan kepada dua orang dosen ahli media dengan lembar penilaian berupa angket ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Validasi Ahli Media

No	Aspek Penilaian	Skor Penilaian		Skor rata-rata	Kategori
		V1	V2		
1.	Pemograman	4,00	4,00	4,00	Sangat valid
2.	Desain visual AR	4,63	4,88	4,76	Sangat valid
3.	Rekayasa perangkat lunak	4,50	4,50	4,50	Sangat valid
4.	Teks	5,00	5,00	5,00	Sangat valid
5.	Navigasi	4,50	4,50	4,50	Sangat valid
6.	Visual VLab	4,25	4,75	4,50	Sangat valid
7.	Animasi	4,33	4,33	4,33	Sangat valid
Rata-rata skor keseluruhan aspek		4,52		Sangat valid	

Penilaian produk oleh validator ahli media berdasarkan tabel penilaian menunjukkan bahwa secara keseluruhan diperoleh skor rata-rata 4,52. Berdasarkan kriteria kategori kelayakan, produk tersebut termasuk dalam kategori “sangat valid”. Para ahli memberikan kesimpulan bahwa produk pengembangan ini sangat layak untuk digunakan, dengan semua aspek penilaian meliputi pemrograman, desain visual AR, rekayasa perangkat lunak, teks, navigasi, visual VLab, dan animasi memperoleh kategori “sangat valid”. Adapun catatan, kritik, dan saran dari validator terhadap aspek-aspek produk dapat dilihat pada tabel 4.4.

Berdasarkan hasil penilaian dari seluruh validator, dapat disimpulkan bahwa produk e-modul berbasis AR telah memenuhi kriteria kevalidan dari aspek materi, desain, dan media dengan kategori *sangat layak*. Skor rata-rata yang tinggi dari ketiga kelompok ahli menunjukkan bahwa produk ini memiliki kualitas yang baik dan siap digunakan sebagai e-modul. Meskipun terdapat beberapa catatan, kritik, dan saran untuk penyempurnaan, keseluruhan komponen utama telah dinilai memadai.

4.1.3.2 Uji Coba Siswa Skala Kecil

Setelah divalidasi akhir oleh ahli, tahap pengembangan dilanjutkan dengan uji coba skala kecil yang melibatkan 9 orang siswa dalam lingkup terbatas. Uji coba ini bertujuan untuk mengamati respons pengguna terhadap tampilan dan isi e-modul, menilai kelancaran penggunaan fitur-fitur yang tersedia, serta mengevaluasi kesesuaian materi dengan karakteristik dan kebutuhan belajar siswa. Hasil uji coba skala kecil ditunjukkan pada tabel 4.8.

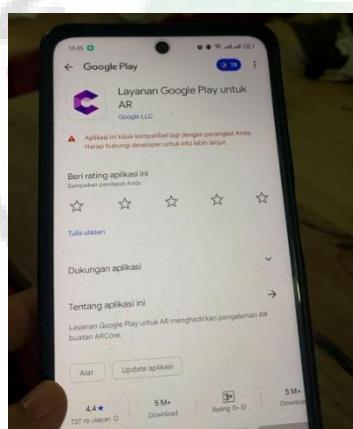
Tabel 4.8. Hasil Uji Coba Skala Kecil

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase (%)	Kategori
1.	Materi	3,71	74,2	Baik
2.	Kebahasaan	3,63	68,0	Baik
3.	Penyajian	3,50	70,0	Baik
Rata-rata seluruh aspek		3,61	70,7	Baik

Berdasarkan data pada tabel di atas, rata-rata persentase sebesar 70,7% menunjukkan bahwa e-modul berada dalam kategori baik. Ketiga aspek yang dinilai, yaitu materi (74,2%), kebahasaan (68,0%), dan penyajian

(70,0%), memperlihatkan bahwa e-modul berbasis AR dinilai mudah digunakan, komunikatif, dan menarik bagi peserta didik.

Namun, dalam proses uji coba ini ditemukan beberapa kendala teknis. Beberapa siswa, mengalami kesulitan dalam mengakses simulasi AR. Hal ini disebabkan oleh integrasi awal konten AR yang menggunakan platform MyWebAR, sehingga AR diarahkan ke *google play* dan tidak dapat dijalankan sebagaimana mestinya. Selain itu, beberapa perangkat siswa memiliki kapasitas memori penyimpanan yang terbatas, yang menghambat kelancaran penggunaan fitur interaktif AR. Penjelasan kendala tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2. Menanggapi permasalahan tersebut, perbaikan dan penyesuaian telah dilakukan. Solusi pertama adalah mengganti platform AR dari MyWebAR ke AssemblrEdu, yang lebih kompatibel dan stabil saat dijalankan di perangkat siswa seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.1. Sebelum Direvisi
(diarahkan ke *google play*)



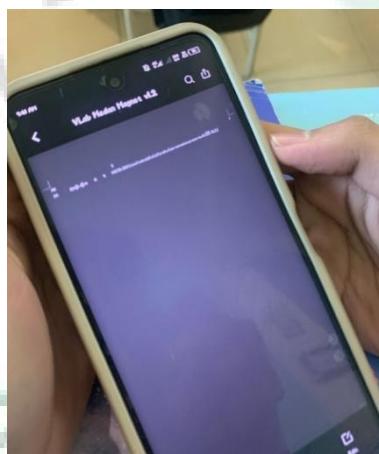
Gambar 4.2. Sebelum Direvisi
(penyimpanan terbatas)



Gambar 4.3. Setelah Direvisi

Dari sisi pemahaman, terdapat beberapa siswa yang menyatakan kesulitan dalam menafsirkan simulasi AR karena belum terbiasa menggunakan teknologi tersebut. Meskipun demikian, sebagian siswa memberikan respon positif, menyatakan bahwa simulasi AR pada e-modul sangat membantu dalam memahami teori atau konsep fisika yang disampaikan, serta membuat pembelajaran menjadi lebih menarik dan interaktif.

Akses terhadap *virtual laboratorium* sebelumnya hanya dapat dibuka melalui dukungan aplikasi dokumen, sehingga menyebabkan file berubah format dan tidak dapat dijalankan sebagaimana mestinya, seperti pada gambar 4.4 (a) (b). Sebagai solusi, sistem akses telah direvisi sehingga tidak lagi memerlukan aplikasi dokumen untuk membuka virtual lab. Siswa cukup mengunduh dan menginstal aplikasi virtual lab melalui tautan Google Drive yang disediakan. Dengan cara ini, aplikasi dapat dijalankan sesuai fungsinya dan tidak berubah menjadi file dokumen, seperti pada gambar 4.5. Kedua, untuk mengatasi kesulitan pemahaman penggunaan simulasi, peneliti telah menambahkan petunjuk teknis penggunaan AR secara rinci di dalam e-modul.



Gambar 4.4. (a) sebelum revisi



Gambar 4.4. (b) sebelum revisi



Gambar 4.5. Setelah Revisi

Selain itu, bagi siswa yang dengan mudah menggunakan dan memahami konten AR serta mampu mengaitkan pengalaman tersebut dengan konsep fisika dalam modul, peneliti memberikan apresiasi khusus karena menunjukkan bahwa integrasi teknologi ini berhasil memfasilitasi pembelajaran yang bermakna.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat kendala teknis awal, seluruh masalah telah diatasi secara efektif. E-modul berbasis AR yang dikembangkan terbukti layak untuk melanjutkan ke tahap implementasi lebih luas dalam proses pembelajaran, karena telah memenuhi aspek kepraktisan dan memperoleh tanggapan positif dari pengguna dalam uji coba skala kecil.

4.1.4 Hasil Pada Tahap *Implementation* (Implementasi)

Hasil tahap implementasi dilakukan uji skala besar yang dilaksanakan dalam tiga rangkaian kegiatan pembelajaran, sesuai dengan struktur e-modul yang telah dikembangkan untuk menilai kepraktisan dan keefektifan e-modul berbasis AR, kemudian guru fisika turut memberikan respon untuk menilai kepraktisan produk.

4.1.4.1 Uji Skala Besar

Uji skala besar ini melibatkan 27 siswa, dengan karakteristik yang beragam namun tetap sesuai dengan sasaran pengguna produk. Pada tahap ini disandingkan dengan uji keterampilan berpikir kritis siswa selama tiga kali pertemuan, yaitu pada hari Kamis dan Jumat tanggal 17, 24, dan 25 April 2025. Pembelajaran berlangsung secara mandiri oleh siswa karena materi ini bersifat pengayaan atau *review*, namun peneliti tetap hadir di kelas sebagai *observer* untuk membantu jika terjadi kendala. Materi yang dibahas dalam pertemuan pertama adalah Fluks Magnetik dan Gaya Gerak Listrik Induksi (GGL) dengan Hukum Faraday; pertemuan kedua membahas Hukum Lenz serta konsep induktansi, termasuk induktansi diri, energi dalam solenoid dan toroida, dan energi yang tersimpan dalam kumparan; sedangkan pertemuan ketiga difokuskan pada aplikasi induksi elektromagnetik dalam teknologi, seperti generator dan transformator.

Selama proses pembelajaran, keterampilan berpikir kritis siswa diuji berdasarkan indikator dari Facione, yang mencakup kemampuan interpretasi,

analisis, inferensi, dan evaluasi. Indikator tersebut diukur melalui aktivitas dalam e-modul, seperti menjawab pertanyaan terbuka, menganalisis simulasi AR, menyimpulkan fenomena fisika, membandingkan konsep, serta menuliskan refleksi mandiri. Hasil uji skala besar ditunjukkan pada tabel 4.11.

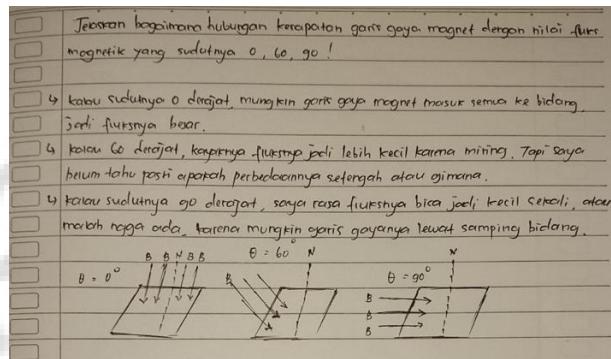
Tabel 4.9. Hasil Uji Skala Besar

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase (%)	Kategori Kepraktisan
1.	Materi	4,39	79,8	Sangat praktis
2.	Kebahasaan	4,40	87,9	Sangat praktis
3.	Penyajian	4,42	88,3	Sangat praktis
Rata-rata keseluruhan aspek		4,40	85,3	Sangat praktis

Hasil uji skala besar menunjukkan bahwa e-modul berbasis AR memiliki tingkat kepraktisan yang sangat tinggi dengan rata-rata persentase keseluruhan sebesar 85,3%, yang termasuk dalam kategori sangat praktis. Aspek materi memperoleh persentase 79,8%, kebahasaan 87,9%, dan penyajian 88,3%, yang semuanya berada pada kategori sangat praktis. Rata-rata keseluruhan 85,3% menunjukkan bahwa e-modul telah mengalami peningkatan kepraktisan yang signifikan dibandingkan hasil uji skala kecil. Perbaikan yang dilakukan berdasarkan refleksi dari uji skala kecil berdampak positif terhadap kenyamanan, keterpahaman, dan efektivitas penggunaan e-modul dalam skala yang lebih luas.

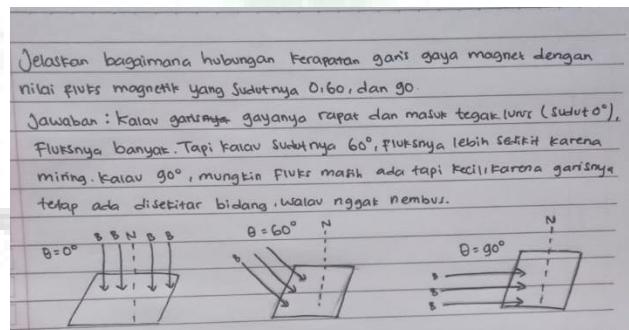
Berdasarkan hasil lembar jawaban siswa setelah menggunakan simulasi AR pada topik fluks magnetik, ditemukan adanya peningkatan pemahaman konsep yang signifikan, terutama dalam mengaitkan kerapatan garis gaya magnet, sudut terhadap bidang, dan besar fluks magnetik.

Sebelum menggunakan simulasi AR, siswa SK01 menunjukkan pemahaman awal yang lebih logis. Ia menjelaskan bahwa fluks maksimum terjadi saat sudut 0° , dan menurun saat sudut bertambah. Namun, siswa ini juga belum yakin secara matematis mengenai besar pengurangannya, serta belum mampu menjelaskan secara eksplisit bahwa pada sudut 90° fluks menjadi nol karena tidak ada garis gaya yang menembus bidang. Dengan demikian, meskipun secara konseptual lebih baik, pemahaman siswa masih belum sepenuhnya terstruktur secara ilmiah. Penjelasan lebih lanjut pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6. Jawaban siswa SK01 sebelum menggunakan e-modul

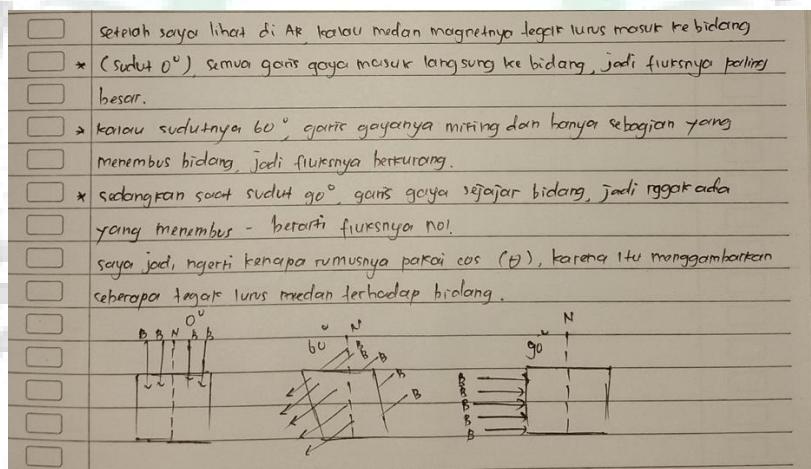
Sebelum menggunakan AR, siswa SK09 menjelaskan bahwa semakin rapat garis gaya magnet, maka fluks magnetiknya besar. Ia juga menyatakan bahwa pada sudut 60° , fluks berkurang karena medan magnet miring. Namun, pada sudut 90° , siswa tersebut masih beranggapan bahwa fluks mungkin tetap ada karena garis gaya “tetap berada di sekitar bidang”, walaupun tidak menembus. Ini menunjukkan bahwa pemahaman siswa masih bersifat lokal dan kurang mempertimbangkan arah orientasi medan terhadap bidang secara spasial. Penjelasan lebih lanjut pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7. Jawaban siswa SK09 sebelum menggunakan e-modul

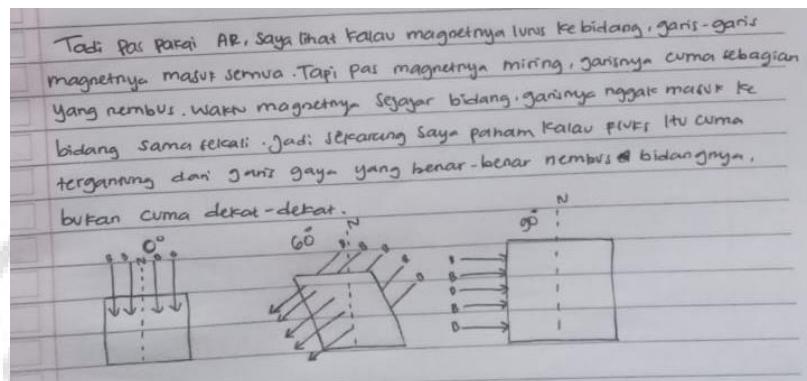
Siswa SK01 menunjukkan pemahaman awal yang lebih logis. Siswa tersebut menjelaskan bahwa fluks maksimum terjadi saat sudut 0° , dan menurun saat sudut bertambah. Namun, siswa ini juga belum yakin secara matematis mengenai besar pengurangannya, serta belum mampu menjelaskan secara eksplisit bahwa pada sudut 90° fluks menjadi nol karena tidak ada garis gaya yang menembus bidang. Dengan demikian, meskipun secara konseptual lebih baik, pemahaman siswa masih belum sepenuhnya terstruktur secara ilmiah.

Setelah menggunakan simulasi AR yang ditautkan melalui QR code dalam e-modul, terjadi peningkatan yang signifikan dalam kualitas jawaban keduanya. Siswa SK01 setelah melihat simulasi AR mampu menyatakan bahwa perbedaan nilai fluks magnetik pada setiap sudut diwakili secara matematis oleh fungsi $\cos \theta$. Siswa menyebutkan bahwa rumus $\Phi=B.A.\cos \theta$ masuk akal karena $\cos \theta$ menggambarkan seberapa tegak lurus arah medan magnet terhadap bidang. Siswa tersebut menyimpulkan bahwa pada sudut 0° , fluks maksimum karena $\cos(0^\circ) = 1$, sedangkan pada 90° , $\cos(90^\circ) = 0$ sehingga fluks nol. Penjelasan lebih lanjut pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8. Jawaban siswa SK01 setelah menggunakan e-modul

Setelah melihat simulasi AR siswa SK09 mulai menyadari bahwa fluks magnetik hanya tergantung pada garis gaya magnet yang menembus bidang secara tegak lurus, bukan yang hanya berada di dekat bidang. Ia menjelaskan bahwa pada saat medan magnet tegak lurus terhadap bidang ($\theta = 0^\circ$), garis gaya menembus penuh dan menghasilkan fluks maksimum. Ketika sudut 60° , garis gaya hanya sebagian yang menembus sehingga fluks berkurang. Dan pada sudut 90° , garis gaya sejajar bidang dan tidak ada yang menembus, sehingga fluks menjadi nol. Hal ini ditunjukkan dengan sketsa visual dan pernyataan eksplisit bahwa fluks bergantung pada arah garis gaya, bukan hanya keberadaannya. Penjelasan lebih lanjut pada gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9. Jawaban siswa SK09 setelah menggunakan e-modul

Kedua siswa tersebut mampu mengonstruksi model mental yang lebih akurat setelah menggunakan simulasi AR, sebagaimana ditunjukkan dalam jawaban visual mereka (gambar bidang dan arah garis gaya magnet untuk masing-masing sudut). Simulasi AR memfasilitasi proses kognitif mereka dalam merepresentasikan secara spasial hubungan antara medan magnet dan fluks secara dinamis. Hal ini menguatkan bahwa media AR memiliki efektivitas dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, khususnya pada indikator explanation dan analysis.

Temuan ini menegaskan bahwa revisi sistem akses AR dan penambahan petunjuk penggunaan telah berhasil mengatasi kendala teknis yang sebelumnya dihadapi, serta meningkatkan persepsi siswa terhadap tampilan dan isi e-modul. Selain itu, siswa yang sebelumnya kesulitan kini mampu mengakses fitur interaktif dengan lebih baik, sementara siswa yang memiliki kemampuan tinggi tetap dapat memanfaatkan fitur AR untuk memperdalam pemahaman konsep secara mandiri.

Dengan demikian, hasil uji skala besar tidak hanya menunjukkan kepraktisan e-modul berbasis AR dalam kategori sangat tinggi, tetapi juga mengafirmasi validitas keputusan revisi produk yang dilakukan berdasarkan hasil uji skala kecil. Produk e-modul dinyatakan layak untuk diimplementasikan secara luas dalam proses pembelajaran, khususnya untuk mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa dalam memahami materi Induksi Elektromagnetik.

4.1.4.2 Uji Kepraktisan Guru Fisika

Penilaian kepraktisan oleh guru fisika sebagai pengguna utama. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa produk mudah digunakan, sesuai dengan kebutuhan pembelajaran, serta mendukung proses belajar mengajar di kelas. Berikut merupakan hasil penilaian kepraktisan produk oleh guru ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Kepraktisan Guru Fisika

No	Aspek Penilaian	Skor Penilaian		Rata-rata skor	Kategori Kepraktisan
		P1	P2		
1.	Pembelajaran	4,80	4,80	4,80	Sangat praktis
2.	Kualitas	4,40	4,60	4,50	Sangat praktis
3.	Tampilan	4,67	4,50	4,59	Sangat praktis
4.	Kebermanfaatan	4,40	4,60	4,50	Sangat praktis
Rata-rata skor keseluruhan aspek		4,60		Sangat praktis	

Berdasarkan hasil penilaian kepraktisan oleh dua orang guru fisika (P1 dan P2), diperoleh rata-rata skor keseluruhan sebesar 4,60 dengan kategori sangat praktis. Seluruh aspek yang dinilai, meliputi pembelajaran, kualitas, tampilan, dan kebermanfaatan, masing-masing mendapatkan kategori sangat praktis. Hal ini menunjukkan bahwa produk e-modul berbasis AR dinilai mudah digunakan, memiliki tampilan yang menarik, berkualitas baik, serta bermanfaat dalam mendukung proses pembelajaran. Dengan demikian, produk ini dinyatakan sangat praktis untuk digunakan oleh guru di kelas.

4.1.4.3 Uji Keefektifan

Efektivitas e-modul diukur melalui pemberian soal keterampilan berpikir kritis kepada siswa sebanyak dua kali, yaitu sebelum (*pretest*) dan sesudah (*posttest*) penggunaan e-modul pada setiap pertemuan, yang disesuaikan dengan cakupan materi. Untuk menganalisis peningkatan kemampuan siswa secara kuantitatif digunakan uji N-Gain, dan uji *One Sample t-Test* dengan membandingkan nilai *posttest* dan KKM yang berfungsi menilai efektivitas produk dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis setelah penggunaan e-modul. Pada tabel 4.11. disajikan hasil pengukuran peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa berdasarkan hasil uji tersebut.

4.1.4.3.1 Hasil Uji N-Gain

Pada tabel 4.11. disajikan hasil pengukuran peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa berdasarkan hasil uji N-Gain.

Tabel 4.11. Hasil Pengukuran Keterampilan Berpikir Kritis Siswa dengan Uji N-Gain

Pertemuan	Nilai rata-rata		Skor N-Gain	Keterangan
	Pretest	Posttest		
1	65	87	0,64	Sedang
2	66	87	0,64	Sedang
3	68	89	0,68	Sedang

Berdasarkan hasil uji N-Gain yang dilakukan selama tiga pertemuan pembelajaran menggunakan e-modul berbasis AR, diperoleh bahwa seluruh pertemuan menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa pada kategori sedang, dengan nilai N-Gain sebesar 0,64 pada pertemuan pertama dan kedua, serta 0,67 pada pertemuan ketiga. Nilai tertinggi terdapat pada pertemuan ketiga, yang membahas tentang aplikasi induksi elektromagnetik dalam teknologi, seperti generator dan transformator. Materi pada pertemuan ketiga bersifat lebih integratif karena mencakup dan mengaplikasikan konsep-konsep dasar yang telah dibahas pada pertemuan sebelumnya, yaitu fluks magnetik, GGL induksi, hukum Faraday, hukum Lenz, dan induktansi. Hal ini menunjukkan bahwa materi yang aplikatif dan menyeluruh mampu memberikan penguatan pemahaman konsep sekaligus mendorong keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih optimal. Oleh karena itu, pertemuan ketiga dapat dianggap sebagai sesi yang paling efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa melalui penggunaan e-modul berbasis AR.

4.1.4.3.2 Hasil Uji Normalitas

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
N-Gain Pert I	.140	27	.187	.936	27	.096
N-Gain Pert II	.137	27	.200*	.944	27	.156
N-Gain Pert III	.155	27	.093	.930	27	.070

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan hasil uji normalitas terhadap data N-Gain pertemuan I, II, dan III menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk, diperoleh bahwa seluruh data memiliki nilai signifikansi (Sig.) di atas 0,05. Untuk data N-Gain pertemuan I, nilai signifikansi Shapiro-Wilk adalah 0,096 dan Kolmogorov-Smirnov sebesar 0,187. Pada pertemuan II, nilai signifikansi Shapiro-Wilk sebesar 0,156 dan Kolmogorov-Smirnov sebesar 0,200. Sedangkan pada pertemuan III, nilai signifikansi Shapiro-Wilk sebesar 0,070 dan Kolmogorov-Smirnov sebesar 0,093. Karena seluruh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data N-Gain pada ketiga pertemuan berdistribusi normal. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi normalitas dan analisis selanjutnya dapat dilakukan menggunakan uji statistik parametrik.

4.1.4.3.3 Hasil Uji One Sample t-Test

Efektivitas e-modul berbasis AR terhadap pencapaian keterampilan berpikir kritis siswa, dilakukan analisis menggunakan uji *One Sample t-Test*. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan rata-rata nilai *posttest* siswa pada setiap pertemuan dengan nilai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) yang telah ditetapkan sebesar 80.

1. Pertemuan 1

Hipotesis

$H_0: \mu = 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan 1 sama dengan nilai KKM 80

$H_1: \mu \neq 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan 1 tidak sama nilai KKM 80

Pengambilan Keputusan

Jika $t_{hitung} < t_{tabel} (\alpha/2; n-1)$ maka H_0 diterima

Jika $t_{hitung} > t_{tabel} (\alpha/2; n-1)$ maka H_0 ditolak

Atau

Jika nilai $Sig. > \alpha$ maka H_0 diterima

Jika nilai $Sig. < \alpha$ maka H_0 ditolak

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Pertemuan 1

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Pertemuan_1	76.392	26	.000	86.852	84.51	89.19

Berdasarkan data pada tabel hasil perhitungan pertemuan 1 didapatkan nilai t_{hitung} adalah 76,392 dengan nilai t_{tabel} 2,056. Sehingga didapatkan Kesimpulan nilai t_{hitung} (76,392) > t_{tabel} (2,056), yang dimana apabila nilai t_{hitung} lebih besar dari nilai t_{tabel} maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang menunjukkan bahwa rata- rata nilai siswa pada pertemuan 1 tidak sama dengan nilai KKM 80 secara signifikan. Jika dilihat dari nilai Sig. didapatkan bahwa nilai Sig. hasil perhitungan adalah 0,000. Sehingga bisa diambil Kesimpulan bahwa nilai Sig. (0,000) kurang dari α (0,05), maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

2. Pertemuan 2

Hipotesis

$H_0: \mu = 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan 2 sama dengan nilai KKM 80

$H_1: \mu \neq 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan tidak sama nilai KKM 80

Pengambilan Keputusan

Jika $t_{hitung} < t_{tabel} (\alpha/2; n-1)$ maka H_0 diterima

Jika $t_{hitung} > t_{tabel} (\alpha/2; n-1)$ maka H_0 ditolak

Atau

Jika nilai Sig. > α maka H_0 diterima

Jika nilai Sig. < α maka H_0 ditolak

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Pertemuan 2

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Pertemuan_2	80.867	26	.000	87.222	85.01	89.44

Berdasarkan data pada tabel hasil perhitungan pertemuan 2 didapatkan nilai t_{hitung} adalah 80,867 dengan nilai t_{tabel} 2,056. Sehingga didapatkan Kesimpulan nilai t_{hitung}

$(80,867) > t_{tabel} (2,056)$, yang dimana apabila nilai t_{hitung} lebih besar dari nilai t_{tabel} maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang menunjukkan bahwa rata- rata nilai siswa pada pertemuan 2 tidak sama dengan nilai KKM 80 secara signifikan. Jika dilihat dari nilai Sig. didapatkan bahwa nilai Sig. hasil perhitungan adalah 0,000. Sehingga bisa diambil Kesimpulan bahwa nilai Sig. (0,000) kurang dari α (0,05), maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

3. Pertemuan 3

Hipotesis

$H_0: \mu = 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan 3 sama dengan nilai KKM 80

$H_1: \mu \neq 80 \rightarrow$ Rata-rata nilai siswa pada pertemuan 3 tidak sama nilai KKM 80

Pengambilan Keputusan

Jika $t_{hitung} < t_{tabel} (\alpha/2;n-1)$ maka H_0 diterima

Jika $t_{hitung} > t_{tabel} (\alpha/2;n-1)$ maka H_0 ditolak

Atau

Jika nilai Sig. $> \alpha$ maka H_0 diterima

Jika nilai Sig. $< \alpha$ maka H_0 ditolak

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Pertemuan 3

One-Sample Test						
	Test Value = 0					95% Confidence Interval of the Difference
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	
					Upper	
Pertemuan_3	87.221	26	.000	89.259	87.16	91.36

Berdasarkan data pada tabel hasil perhitungan pertemuan 3 didapatkan nilai t_{hitung} adalah 87,221 dengan nilai t_{tabel} 2,056. Sehingga didapatkan Kesimpulan nilai t_{hitung} (87,221) $> t_{tabel}$ (2,056), yang dimana apabila nilai t_{hitung} lebih besar dari nilai t_{tabel} maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang menunjukkan bahwa rata- rata nilai siswa pada pertemuan 3 tidak sama dengan nilai KKM 80 secara signifikan. Jika dilihat dari nilai Sig. didapatkan bahwa nilai Sig. hasil perhitungan adalah 0,000. Sehingga bisa diambil Kesimpulan bahwa nilai Sig. (0,000) kurang dari α (0,05), maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Karena pada ketiga pertemuan seluruh nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ dan nilai $p-value$ lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima pada seluruh pertemuan. Artinya, terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai *posttest* siswa dengan nilai KKM, dan rata-rata yang dicapai berada di atas nilai KKM. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan e-modul berbasis AR efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. E-modul ini mampu mendukung pemahaman konsep secara lebih visual dan interaktif.

4.1.5 Hasil Penggunaan E-Modul Berbasis AR dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Keterampilan berpikir kritis siswa diukur berdasarkan indikator menurut Facione, yaitu: interpretasi, analisis, inferensi, eksplanasi, dan evaluasi. Hasil pengukuran untuk masing-masing indikator tersebut diperoleh melalui aktivitas dalam e-modul berbasis AR, seperti menjawab pertanyaan terbuka, menganalisis simulasi AR, menyimpulkan fenomena fisika, membandingkan konsep, serta menuliskan refleksi mandiri. Aktivitas-aktivitas tersebut dirancang untuk menggambarkan kemampuan siswa dalam memahami informasi, mengurai dan mengevaluasi data, menarik kesimpulan logis, menjelaskan argumen, dan mempertimbangkan keputusan atau solusi secara kritis. Data rinci untuk tiap indikator dapat dilihat pada tabel 4.16., 4.17., 4.18. berikut.

Tabel 4.15. Pengukuran Keterampilan Berpikir Kritis Per-Indikator Pertemuan 1

Indikator	Pretest	Posttest	Skor maks	Skor N-gain	Keterangan
Interpretasi	2,85	3,78	4	0,80	Tinggi
Analisis	2,63	3,59	4	0,69	Sedang
Inferensi	2,63	3,56	4	0,69	Sedang
Eksplanasi	2,52	3,52	4	0,67	Sedang
Evaluasi	2,33	3,37	4	0,65	Sedang

Tabel 4.16. Pengukuran Keterampilan Berpikir Kritis Per-Indikator Pertemuan 2

Indikator	Pretest	Posttest	Skor maks	Skor N-gain	Keterangan
Interpretasi	2,89	3,78	4	0,80	Tinggi
Analisis	2,67	3,63	4	0,70	Sedang
Inferensi	2,63	3,59	4	0,70	Sedang
Eksplanasi	2,52	3,52	4	0,67	Sedang
Evaluasi	2,33	3,37	4	0,65	Sedang

Tabel 4.17. Pengukuran Keterampilan Berpikir Kritis Per-Indikator Pertemuan 3

Indikator	Pretest	Posttest	Skor maks	N-gain	Keterangan
Interpretasi	2,89	3,78	4	0,80	Tinggi
Analisis	2,81	3,70	4	0,72	Tinggi
Inferensi	2,70	3,63	4	0,70	Sedang
Eksplanasi	2,63	3,59	4	0,70	Sedang
Evaluasi	2,41	3,48	4	0,69	Sedang

Hasil pengukuran keterampilan berpikir kritis per indikator menunjukkan bahwa pada setiap pertemuan terjadi peningkatan skor dari pretest ke posttest. Pada pertemuan 1, indikator *interpretasi* memperoleh skor N-Gain sebesar 0,80 dan masuk kategori tinggi, sedangkan keempat indikator lainnya (*analisis*, *inferensi*, *eksplanasi*, dan *evaluasi*) berada dalam kategori sedang dengan skor N-Gain berkisar antara 0,65–0,69. Hal ini menunjukkan bahwa siswa mampu memahami dan menafsirkan informasi fisika secara baik setelah menggunakan e-modul.

Pada pertemuan 2, pola peningkatan yang serupa juga tampak, dengan indikator *interpretasi* kembali mencatat skor tertinggi sebesar 0,80 (kategori tinggi). Indikator lainnya tetap berada dalam kategori sedang dengan peningkatan skor N-Gain yang sedikit lebih baik dibandingkan pertemuan pertama, terutama pada aspek *analisis* dan *inferensi* yang mencapai 0,70.

Selanjutnya, pertemuan 3 menunjukkan pencapaian tertinggi secara keseluruhan. Dua indikator, yaitu *interpretasi* dan *analisis*, berhasil mencapai kategori tinggi, masing-masing dengan skor N-Gain 0,80 dan 0,72. Tiga indikator lainnya (*inferensi*, *eksplanasi*, dan *evaluasi*) tetap berada dalam kategori sedang, namun dengan skor N-Gain yang mendekati batas atas kategori tersebut (antara 0,69–0,70). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan pembelajaran pada pertemuan ketiga yang bersifat aplikatif dan mencakup keseluruhan materi mampu mendorong penguatan keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih merata.

Secara keseluruhan, data ini mengindikasikan bahwa penggunaan e-modul berbasis AR efektif dalam meningkatkan semua aspek keterampilan berpikir kritis siswa, dengan peningkatan paling konsisten dan signifikan pada indikator *interpretasi* di setiap pertemuan.

4.1.6 ***Evaluation (Evaluasi)***

Tahap evaluasi dalam model ADDIE dilakukan secara menyeluruh terhadap kualitas produk berdasarkan hasil validasi ahli, uji kepraktisan, dan uji keefektifan. Evaluasi bertujuan untuk memastikan bahwa e-modul berbasis AR yang dikembangkan telah memenuhi standar kelayakan, kemudahan penggunaan, serta berdampak positif terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa.

Kevalidan produk diuji melalui penilaian oleh enam validator yang terdiri dari ahli materi, desain, dan media. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul tergolong dalam kategori sangat valid, dengan rata-rata skor keseluruhan 4,57 (materi), 4,35 (desain), dan 4,52 (media). Hal ini mengindikasikan bahwa konten, tampilan, serta fitur AR telah disusun sesuai prinsip pedagogis dan teknis yang baik. Proses evaluasi juga mencakup revisi substansial berdasarkan saran ahli untuk menyempurnakan struktur modul, bahasa, serta integrasi simulasi AR.

Kepraktisan produk dinilai melalui dua tahap, yakni uji coba skala kecil dan uji skala besar. Uji coba skala kecil melibatkan 9 siswa dan menghasilkan skor rata-rata 70,7% (kategori baik). Setelah revisi teknis, uji skala besar dilaksanakan dengan 27 siswa dan menunjukkan peningkatan signifikan dalam kepraktisan, dengan rata-rata persentase sebesar 85,3% (kategori sangat praktis). Penilaian guru fisika juga menghasilkan skor rata-rata 4,60 (kategori sangat praktis), yang menunjukkan bahwa produk mudah digunakan, mendukung pembelajaran, dan memberikan manfaat nyata dalam praktik kelas.

Keefektifan produk diukur menggunakan uji N-Gain dan *One Sample t-Test*. Hasil uji N-Gain menunjukkan peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa dalam kategori sedang untuk seluruh pertemuan. Sementara itu, uji *One Sample t-Test* menunjukkan bahwa rata-rata nilai *posttest* siswa secara signifikan lebih tinggi daripada nilai KKM pada ketiga pertemuan, dengan nilai t hitung $> t$ tabel dan $p\text{-value} < 0,05$. Hal ini menegaskan bahwa e-modul berbasis AR efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Secara keseluruhan, tahap evaluasi menunjukkan bahwa e-modul berbasis AR layak digunakan dalam pembelajaran, baik dari segi validitas isi dan teknis, kepraktisan penggunaannya, maupun efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Evaluasi ini menjadi dasar kuat untuk menyimpulkan bahwa e-modul ini dapat diimplementasikan secara luas sebagai media pembelajaran inovatif pada materi Induksi Elektromagnetik.

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Kevalidan E-modul

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk e-modul berbasis AR yang dikembangkan termasuk dalam kategori “sangat valid” berdasarkan hasil validasi oleh ahli materi, ahli desain pembelajaran, dan ahli media.

Validasi oleh dua orang ahli materi menunjukkan bahwa e-modul mendapatkan skor rata-rata 4,57 dari skala 1–5. Rinciannya adalah: kelayakan isi sebesar 4,64, keakuratan materi 4,42, kebahasaan 4,40, penyajian 4,67, dan kemampuan mengembangkan keterampilan berpikir kritis sebesar 4,70. Hasil ini menunjukkan bahwa konten e-modul telah sesuai dengan kompetensi dasar, akurat secara konseptual, serta mampu memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa. Beberapa perbaikan yang dilakukan berdasarkan masukan dari ahli materi meliputi perincian tujuan pembelajaran agar sesuai dengan indikator berpikir kritis, pemberian pengantar sebelum rumus, penyusunan soal yang bersifat analitis, serta penambahan penjelasan pada gambar agar tidak menimbulkan multitafsir.

Sementara itu, hasil validasi oleh dua orang ahli desain pembelajaran menunjukkan bahwa e-modul mendapatkan skor rata-rata 4,35, dengan rincian: tampilan desain layout 4,25, kemudahan penggunaan 4,75, konsistensi 4,17, kegrafikan 4,42, dan kebermanfaatan 4,13. Para ahli desain menyatakan bahwa e-modul ini sudah informatif dan mudah digunakan, namun memberikan beberapa saran perbaikan seperti penyederhanaan kalimat agar lebih komunikatif, perbaikan tata bahasa dengan penambahan subjek yang jelas, pengaturan tata letak gambar agar tidak terlalu padat, dan peningkatan harmonisasi warna untuk kenyamanan visual pengguna.

Selanjutnya, validasi oleh dua orang ahli media menunjukkan bahwa e-modul memperoleh skor rata-rata 4,52. Rinciannya mencakup: pemrograman 4,00, desain visual AR 4,76, rekayasa perangkat lunak 4,50, teks 5,00, navigasi 4,50, visual virtual lab (VLab) 4,50, dan animasi 4,33. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh aspek media berada pada kategori “sangat valid”, mencerminkan bahwa teknologi AR yang diterapkan berfungsi dengan baik, tampilan visual mendukung pembelajaran, dan antarmuka mudah diakses oleh siswa. Beberapa

perbaikan yang dilakukan berdasarkan saran ahli media mencakup optimalisasi kecepatan akses simulasi AR, penyesuaian posisi konten agar lebih terstruktur, dan perluasan teori pada subtopik tertentu untuk memperdalam pemahaman siswa.

Secara keseluruhan, skor tinggi dari ketiga validator menunjukkan bahwa produk e-modul berbasis AR ini memiliki tingkat kevalidan yang sangat tinggi. Dengan kombinasi antara isi materi yang valid, desain pembelajaran yang menarik dan fungsional, serta media yang mendukung visualisasi interaktif, produk ini sangat potensial untuk diimplementasikan dalam pembelajaran di kelas. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya oleh (Wulandari *et al.*, 2022) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis AR mampu meningkatkan daya tarik dan efektivitas belajar siswa melalui visualisasi konkret. Selain itu, studi oleh (Yusa *et al.*, 2023) menemukan bahwa penggunaan media pembelajaran AR dalam IPA meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep secara signifikan, sementara (Suhendah & Prazna, 2023) dalam *setting* Sekolah Menengah Pertama (SMP) juga melaporkan peningkatan motivasi yang nyata pada siswa setelah menggunakan AR dalam pelajaran sains.

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang berfokus pada aspek motivasi atau pemahaman konseptual, penelitian ini berfokus secara eksplisit pada pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa melalui integrasi AR ke dalam e-modul berbasis materi Induksi Elektromagnetik. Inilah celah atau gap fenomena yang menjadi kontribusi penting dari penelitian ini. Beberapa aspek gap yang berhasil diisi, antara lain: (1) penelitian ini mengintegrasikan indikator berpikir kritis (interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi) ke dalam konten dan aktivitas e-modul, yang belum menjadi fokus utama dalam penelitian sebelumnya yang lebih menekankan pemahaman atau motivasi; (2) penelitian ini mengaplikasikan AR secara efektif pada materi fisika yang bersifat abstrak seperti fluks magnetik, GGL, dan induktansi, yang selama ini menjadi kendala dalam pembelajaran konvensional. Penelitian sebelumnya umumnya tidak membahas secara mendalam implementasi AR pada topik-topik fisika tingkat lanjut; (3) berbeda dari penelitian terdahulu yang menerapkan AR dalam pembelajaran terstruktur dengan panduan guru, penelitian ini menunjukkan bahwa e-modul AR dapat digunakan secara mandiri oleh siswa dalam kegiatan

pengayaan, dengan tingkat keberhasilan penggunaan yang tinggi setelah dilakukan revisi pada sistem akses dan penyajian; (4) sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan AR sebagai media tambahan atau terpisah, sementara dalam penelitian ini, AR diintegrasikan secara sistematis ke dalam e-modul interaktif, menyatu dengan tujuan pembelajaran, evaluasi, dan aktivitas berpikir kritis.

Dengan demikian, penelitian ini mengisi celah dalam penelitian sebelumnya yang belum secara eksplisit mengaitkan teknologi AR dengan pembentukan keterampilan berpikir kritis siswa, khususnya dalam konteks materi fisika yang menantang.

4.2.2 Kepraktisan E-modul

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul berbasis AR yang dikembangkan memiliki tingkat kepraktisan yang sangat tinggi, baik dari sudut pandang guru fisika sebagai pengguna utama maupun siswa sebagai pengguna langsung. Kepraktisan produk dinilai melalui dua pendekatan, yaitu uji skala besar terhadap siswa dan penilaian oleh guru fisika.

Uji skala besar dilaksanakan bersama 27 siswa dengan karakteristik beragam namun tetap sesuai dengan sasaran pengguna. Dalam kegiatan pembelajaran mandiri yang terbagi dalam tiga pertemuan, siswa menggunakan e-modul sebagai media utama untuk memahami materi penguatan terkait induksi elektromagnetik. Berdasarkan hasil angket kepraktisan, diperoleh rata-rata skor 4,40 atau setara dengan persentase 85,3%, yang dikategorikan sebagai sangat praktis. Secara rinci, aspek materi memperoleh skor 4,39 (79,8%), aspek kebahasaan memperoleh skor 4,40 (87,9%), dan aspek penyajian memperoleh skor 4,42 (88,3%). Temuan ini menunjukkan bahwa e-modul mampu menyajikan konten yang mudah dipahami, menggunakan bahasa yang komunikatif, serta memiliki tampilan penyajian yang menarik dan mendukung aktivitas belajar siswa.

Kepraktisan produk juga tercermin dari keberhasilan siswa dalam menggunakan fitur-fitur interaktif, seperti simulasi AR, pertanyaan terbuka, dan aktivitas reflektif. Meskipun pada uji coba sebelumnya sempat ditemukan kendala teknis terkait perubahan format file saat membuka virtual lab melalui aplikasi dokumen, permasalahan tersebut telah diatasi melalui revisi sistem akses, yakni

dengan menyediakan tautan langsung ke *Google Drive*. Perubahan ini menjadikan simulasi dapat diakses dengan lancar tanpa perubahan format, sehingga meningkatkan keandalan dan kemudahan penggunaan produk.

Selain penilaian oleh siswa, kepraktisan e-modul juga dievaluasi oleh dua guru fisika yang berperan sebagai pengguna utama dalam implementasi pembelajaran di kelas. Berdasarkan hasil penilaian, diperoleh skor rata-rata keseluruhan sebesar 4,60, yang termasuk dalam kategori sangat praktis. Secara spesifik, aspek pembelajaran memperoleh skor 4,80, kualitas konten 4,50, tampilan visual 4,59, dan kebermanfaatan 4,50. Hasil ini menunjukkan bahwa guru menilai e-modul ini mudah digunakan, sesuai dengan kebutuhan pembelajaran, menarik secara visual, serta bermanfaat dalam mendukung proses pengajaran. Penilaian ini memperkuat temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa e-modul tidak hanya mudah diakses, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan dalam memfasilitasi proses belajar siswa.

Temuan kepraktisan dari e-modul berbasis AR yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan respons positif dari pengguna, baik dari sisi guru maupun peserta didik. Hal ini terlihat dari skor tinggi yang diperoleh dalam uji kepraktisan, yang mencakup kemudahan penggunaan, kejelasan petunjuk, dan ketepatan penyajian materi. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh (Manik *et al.*, 2024) yang menunjukkan bahwa e-modul numerasi memperoleh tingkat kepraktisan sebesar 88,33% dari guru dan 84,56% dari siswa. Penelitian oleh (Lubis, 2024) juga melaporkan bahwa e-modul matematika yang dikembangkan dinyatakan sangat praktis oleh guru dalam pelaksanaan pembelajaran di SMP. Selain itu, hasil yang senada ditemukan oleh (Sholikha *et al.*, 2024), yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis AR dalam topik biologi memiliki tingkat kepraktisan sangat tinggi dengan skor rata-rata 92,73%.

Kepraktisan ini berdampak signifikan terhadap efektivitas penggunaan e-modul dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa. Hal ini didukung oleh temuan dari (Ashari, 2023) yang mengungkapkan bahwa pemanfaatan media AR membantu siswa dalam mengembangkan proses berpikir tingkat tinggi, khususnya dalam hal analisis dan evaluasi. Lebih lanjut, (Akbar *et al.*, 2024) membuktikan secara eksperimen bahwa penerapan AR dalam pembelajaran

matematika dasar secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir kritis berdasarkan indikator Facione. Penelitian oleh (Mukaromah dan Fibriana, 2024) bahkan menunjukkan nilai *n-gain* sebesar 0,62 dan signifikansi uji *t* sebesar 0,000, menegaskan efektivitas penggunaan AR dalam pembelajaran berbasis inkuiri. Temuan serupa juga ditunjukkan oleh (Nusroh *et al.*, 2022) dan (Syawaludin *et al.*, 2019) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis AR efektif dalam mendorong peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa secara signifikan dalam konteks sains dan fisika.

Sejumlah penelitian sebelumnya memberikan dukungan kuat terhadap pemanfaatan media pembelajaran berbasis e-modul dan AR, sebagian besar masih memiliki keterbatasan baik dari segi cakupan fokus, konteks implementasi, maupun integrasi pedagogis, yang kemudian menjadi ruang kosong (*gap* fenomena) yang secara sadar dijawab oleh penelitian ini. Penelitian (Manik *et al.*, 2024) fokus terbatas pada aspek kepraktisan teknis dan kemudahan penggunaan, tanpa disertai pengujian lebih lanjut terhadap efektivitas dalam pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Tidak menggunakan fitur teknologi berbasis AR untuk mendukung pemahaman abstrak. Gap dari penelitian ini tidak hanya menilai kepraktisan dari segi teknis, tetapi juga membuktikan bahwa kepraktisan fitur (seperti simulasi AR) berkontribusi nyata terhadap pencapaian kompetensi berpikir kritis, khususnya dalam materi fisika yang kompleks.

Penelitian (Lubis, 2024) penilaian hanya berasal dari guru, tidak ada triangulasi dari pengalaman langsung siswa sebagai pengguna akhir. Konteksnya adalah pembelajaran matematika dasar, yang bersifat simbolik dan tidak terlalu memerlukan visualisasi spasial seperti fisika. Gap dari penelitian ini menggunakan dua sudut pandang pengguna, yakni guru dan siswa, sehingga penilaian kepraktisan menjadi lebih objektif dan menyeluruh. Selain itu, e-modul yang peneliti kembangkan secara khusus menjawab kebutuhan visualisasi konsep abstrak dalam fisika melalui simulasi AR.

Penelitian (Sholikha *et al.*, 2024) fokus penelitian terbatas pada aspek afektif (motivasi) dan kemudahan penggunaan. Tidak menilai aspek kognitif mendalam seperti kemampuan berpikir kritis. Media AR hanya digunakan sebagai simulasi visual, belum terintegrasi dalam kerangka modul pembelajaran

utuh. Gap dari penelitian ini mengintegrasikan AR secara penuh ke dalam struktur e-modul interaktif, bukan sekadar media visualisasi. AR dalam penelitian Anda digunakan untuk mengembangkan analisis, evaluasi, dan inferensi, sesuai indikator berpikir kritis (Facione).

Penelitian (Ashari, 2023) dan (Akbar *et al.*, 2024), kedua penelitian ini membuktikan bahwa media AR mendukung pengembangan berpikir kritis, terutama analisis dan evaluasi. Namun tidak secara spesifik mengaitkan kepraktisan media AR dengan efektivitas pembelajaran mandiri. Umumnya dilakukan dalam pembelajaran terstruktur dengan peran guru dominan, belum menguji penggunaan mandiri oleh siswa. Gap dari penelitian ini mengaitkan langsung kepraktisan penggunaan e-modul AR dengan pencapaian indikator berpikir kritis, serta membuktikan bahwa penggunaan mandiri oleh siswa tetap efektif berkat kejelasan petunjuk dan struktur aktivitas reflektif dalam modul.

Penelitian (Mukaromah & Fibriana, 2024); (Nusroh *et al.*, 2022); (Syawaludin *et al.*, 2019) menyimpulkan bahwa media AR efektif dalam mendorong keterampilan berpikir kritis dalam sains. Namun fokus lebih pada pembelajaran berbasis inkuiri atau eksperimen langsung, tanpa menyusun produk bahan ajar sistematis seperti e-modul. Tidak menyediakan rangkaian evaluasi formatif terstruktur, seperti soal reflektif dan aktivitas pengayaan mandiri. Gap dari penelitian ini menawarkan produk pembelajaran lengkap (e-modul AR) yang tidak hanya mendukung eksperimen virtual, tetapi juga mencakup tujuan pembelajaran kritis, aktivitas simulasi, soal HOTS, dan evaluasi reflektif, semua dalam satu kesatuan produk pembelajaran.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam praktik pembelajaran abad ke-21 yang menuntut inovasi berbasis teknologi, kemandirian belajar, dan penguatan kemampuan berpikir tingkat tinggi secara seimbang.

4.2.3 Keefektifan E-modul

Keefektifan e-modul berbasis augmented reality (AR) pada materi Induksi Elektromagnetik dinilai melalui peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Aspek ini dianalisis dengan dua pendekatan: pertama, melalui uji statistik

menggunakan *One-Sample t-Test* untuk membandingkan rata-rata nilai posttest siswa terhadap nilai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM); kedua, melalui analisis peningkatan skor per indikator keterampilan berpikir kritis dengan pendekatan *normalized gain* (N-gain) berdasarkan indikator yang dikembangkan oleh Facione (2011).

Hasil uji *t* pada setiap pertemuan menunjukkan bahwa rata-rata nilai posttest siswa secara signifikan lebih tinggi dari nilai KKM (80). Pada pertemuan pertama, nilai *thitung* sebesar 76,392 lebih besar dari *tabel* sebesar 2,056 dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Demikian pula, pada pertemuan kedua diperoleh *thitung* sebesar 80,867 dan signifikansi 0,000, serta pada pertemuan ketiga *thitung* sebesar 87,221 dan signifikansi 0,000. Hasil ini menegaskan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak pada semua pertemuan, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai posttest siswa dan nilai KKM, dengan rata-rata capaian siswa berada di atas nilai minimal ketuntasan. Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa penggunaan e-modul berbasis AR secara signifikan efektif dalam mendukung pencapaian hasil belajar siswa, khususnya dalam keterampilan berpikir kritis.

Efektivitas e-modul ini juga diperkuat oleh hasil pengukuran N-gain untuk setiap indikator keterampilan berpikir kritis, yaitu interpretasi, analisis, inferensi, eksplanasi, dan evaluasi. Pada pertemuan pertama, indikator interpretasi menunjukkan peningkatan tertinggi dengan skor N-gain 0,80 (kategori tinggi), sementara indikator lainnya berada pada kategori sedang dengan rentang N-gain antara 0,65 hingga 0,69. Peningkatan ini mencerminkan kemampuan siswa dalam memahami dan menafsirkan informasi fisika secara lebih baik setelah menggunakan e-modul.

Pada pertemuan kedua, tren peningkatan tetap konsisten. Indikator interpretasi kembali mencatat N-gain sebesar 0,80, dan indikator analisis serta inferensi menunjukkan skor 0,70, mendekati batas atas kategori sedang. Hal ini menunjukkan adanya perkembangan yang lebih merata pada kemampuan berpikir kritis siswa, khususnya dalam mengurai dan menghubungkan konsep-konsep fisika.

Pertemuan ketiga memperlihatkan hasil paling optimal. Dua indikator—interpretasi (0,80) dan analisis (0,72)—berada pada kategori tinggi, sedangkan tiga indikator lainnya tetap dalam kategori sedang namun dengan skor N-gain yang meningkat dan hampir mencapai kategori tinggi (antara 0,69–0,70). Fakta ini mengindikasikan bahwa materi aplikatif yang disajikan dalam pertemuan ketiga, seperti pembahasan tentang generator dan transformator, memberikan kontribusi signifikan dalam memperkuat keterampilan berpikir kritis siswa secara komprehensif.

Hasil ini sejalan dengan studi serupa oleh (Yusa *et al.*, 2023) dan (Alfarizi *et al.*, 2024), yang melaporkan bahwa media pembelajaran berbasis AR meningkatkan hasil belajar IPA secara signifikan. Selain itu, (Fitriani *et al.*, 2024) menemukan bahwa penggunaan AR dalam kelas IPA meningkatkan keterlibatan kognitif siswa dan skor post-test secara signifikan, sedangkan (Ramdani *et al.*, 2024) melaporkan bahwa media AR mendukung proses berpikir kritis dalam konteks SDGs di pembelajaran sains.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, seperti (Yusa *et al.*, 2023), (Alfarizi *et al.*, 2024), dan (Fitriani *et al.*, 2024), yang umumnya menyoroti peningkatan motivasi dan pemahaman konsep melalui media AR, penelitian ini lebih unggul karena:

1. Mengintegrasikan media AR ke dalam e-modul lengkap, bukan hanya sebagai alat bantu visual.
2. Menerapkan pembelajaran mandiri, bukan sepenuhnya berbasis bimbingan guru.
3. Menyediakan instrumen evaluasi berdasarkan lima indikator keterampilan berpikir kritis (Facione, 2011).
4. Menganalisis hasil secara kuantitatif melalui uji statistik dan *gain score*.

Sebaliknya, sebagian besar studi terdahulu belum menilai efektivitas AR berdasarkan indikator berpikir kritis yang spesifik. Misalnya, studi oleh (Sholikha *et al.*, 2024) hanya mengukur aspek kepraktisan dan motivasi, sementara (Mukaromah & Fibriana, 2024) hanya fokus pada pembelajaran inkuiri tanpa penggunaan modul digital. Dengan demikian, penelitian ini mengisi gap fenomena berupa kurangnya kajian yang mengombinasikan AR-interaktif, e-modul

terstruktur, pembelajaran mandiri, dan pengukuran keterampilan berpikir kritis secara terpisah.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa e-modul berbasis AR yang dikembangkan tidak hanya valid dan praktis, tetapi juga efektif secara signifikan dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, khususnya dalam konteks pembelajaran sains modern seperti Induksi Elektromagnetik yang bersifat abstrak dan visual.

4.2.4 Pengembangan Pembahasan

Sebelum penggunaan e-modul berbasis AR, siswa dihadapkan pada tantangan dalam memahami materi Induksi Elektromagnetik, terutama pada konsep-konsep abstrak seperti fluks magnetik, GGL induksi, Hukum Faraday dan Lenz, hingga prinsip kerja transformator. Pembelajaran sebelumnya cenderung bersifat konvensional, yaitu melalui ceramah, buku teks, dan papan tulis. Konsep medan magnet yang berubah, arah induksi arus, dan hubungan antara perubahan medan dengan arus yang timbul sulit divisualisasikan, sehingga siswa kesulitan melakukan interpretasi dan analisis terhadap gejala fisika yang dijelaskan secara verbal.

Hal ini menyebabkan keterampilan berpikir kritis siswa belum berkembang optimal, terutama dalam aspek:

1. Analisis hubungan sebab-akibat (misalnya, perubahan fluks menimbulkan GGL),
2. Inferensi dari fenomena (arah arus berdasarkan arah medan),
3. Evaluasi terhadap solusi fisis atau penalaran konsep alternatif.

Setelah penggunaan e-modul berbasis AR, terjadi perubahan:

1. Simulasi 3D memungkinkan siswa mengamati secara langsung hubungan antara arah medan magnet dan arus yang timbul.
2. Aktivitas berbasis simulasi mendorong kegiatan analisis dan pengambilan kesimpulan yang melibatkan logika fisis, bukan sekadar mengingat definisi.
3. Virtual lab dan soal reflektif memberikan siswa kesempatan menguji pemahaman.

4. Saat mengamati arah putaran magnet terhadap kumparan, siswa mampu menyimpulkan arah arus induksi sesuai Hukum Lenz secara mandiri.

Hal ini selaras dengan data N-gain yang menunjukkan peningkatan signifikan pada indikator interpretasi, analisis, dan inferensi, yang pada pertemuan ketiga (topik transformator dan generator) bahkan masuk kategori sedang (N-gain 0,69). Namun demikian, dalam implementasinya terdapat kekurangan penting yang menjadi bahan evaluasi dalam penelitian ini, yaitu:

1. Beberapa soal tes keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam pengukuran belum sepenuhnya merujuk pada bentuk soal yang biasa digunakan dalam pengujian berpikir kritis berbasis sains.
2. Beberapa soal bersumber dari platform AI (ChatGPT) yang belum seluruhnya diuji validitas empirik atau didesain berdasarkan teori penulisan soal berpikir kritis secara formal.

Soal nomor 5 "Seorang siswa menghitung fluks magnetik menggunakan rumus $\Phi = BA \sin \theta$. Soal ini hanya meminta jawaban "benar atau salah" tanpa mendorong siswa untuk menganalisis lebih dalam. Tanpa adanya konteks yang jelas, siswa cenderung hanya mengandalkan hafalan rumus, bukan pemahaman konsep yang mendasarinya. Akibatnya, soal ini lebih mengukur seberapa baik siswa menghafal, bukan seberapa baik siswa mampu mengevaluasi dan menilai validitas suatu pendekatan ilmiah.

Soal nomor 8, soal ini hanya meminta siswa untuk menjelaskan kembali Hukum Faraday, yaitu semakin cepat perubahan medan magnet, semakin besar arus listrik yang timbul. Proses berpikir yang diminta di sini hanya sebatas mengulang pengetahuan yang sudah didapat, bukan menganalisis atau membuat kesimpulan baru. Untuk mengukur kemampuan membuat kesimpulan yang kritis, soal seharusnya memberikan siswa data atau informasi yang berbeda, siswa seharusnya menghubungkan berbagai fakta, dan menarik kesimpulan yang tidak disebutkan secara langsung.

Soal nomor 10, soal ini menyajikan dua argumen, tetapi tidak adanya kesetaraan/kesetimbangan argumen. Pernyataan siswa A terlalu sederhana dan kurang alasan ilmiah, sementara pernyataan siswa B justru menggunakan istilah yang tidak relevan ("induktansi"), yang dapat membingungkan

siswa. Ketidakseimbangan ini membuat siswa tidak bisa membandingkan kedua argumen secara rasional dan ilmiah. Selain itu, soal ini juga kekurangan konteks eksperimen. Tanpa informasi yang jelas tentang bagaimana medan magnet berubah, siswa tidak bisa menerapkan Hukum Faraday dengan akurat. Hal ini memaksa siswa untuk menebak atau mengandalkan hafalan, bukan melakukan analisis dan evaluasi kritis terhadap argumen yang ada. Untuk mengukur evaluasi kritis yang sebenarnya, soal seharusnya menyajikan dua argumen yang logis dan setara secara ilmiah, sehingga siswa benar-benar dapat menimbang mana yang lebih masuk akal berdasarkan prinsip fisika.

Soal nomor 11 "Jelaskan bagaimana prinsip induksi elektromagnetik diterapkan dalam generator listrik. Apa yang membuat generator mampu menghasilkan listrik dari energi mekanik?" Soal ini hanya menuntut jawaban yang bersifat hafalan, seperti "energi mekanik memutar kumparan di dalam medan magnet, yang kemudian menghasilkan listrik". Jawaban seperti ini tidak memerlukan penalaran mendalam atau analisis kritis. Untuk mengukur kemampuan interpretasi, soal seharusnya memberikan konteks atau data spesifik, seperti grafik, ilustrasi, atau kondisi yang berbeda (misalnya, generator dengan jumlah lilitan berbeda).

Soal nomor 12 "Analisis bagaimana perubahan kecepatan pergerakan turbin dalam generator akan mempengaruhi besarnya arus yang dihasilkan. Jelaskan hubungan antara kecepatan perubahan fluks magnetik dengan besar arus yang dihasilkan." Soal ini hanya meminta siswa untuk menyatakan bahwa semakin cepat putaran turbin, semakin besar perubahan fluks magnetik, yang pada akhirnya meningkatkan arus.

Soal nomor 13 "Bagaimana prinsip induksi elektromagnetik digunakan dalam transformator untuk mentransmisikan daya listrik? Jelaskan bagaimana transformator mengurangi kehilangan daya melalui penggunaan induksi elektromagnetik." Soal ini hanya menuntut siswa untuk menjelaskan dua hal yang sudah menjadi konsep dasar yaitu prinsip induksi elektromagnetik pada transformator dan hubungan antara tegangan yang dinaikkan dengan penurunan kerugian daya. Jawaban dari soal ini bisa didapatkan hanya dengan mengingat kembali teori yang sudah dipelajari. Untuk menguji kemampuan inferensi, soal

seharusnya meminta siswa untuk menarik kesimpulan dari informasi yang tidak disebutkan secara langsung.

Soal nomor 14 "Jelaskan bagaimana penggunaan induksi elektromagnetik dalam pembangkit listrik tenaga angin membantu menghasilkan listrik. Apa keuntungan dan tantangan dari penerapan prinsip ini dalam teknologi energi terbarukan?" Soal ini sangat umum dan tidak memberikan konteks atau data spesifik yang bisa dianalisis siswa. Jawaban yang paling sering diberikan adalah "turbin memutar generator" dan "energi angin itu bersih," yang merupakan fakta dasar, bukan penjelasan kritis.

Hal ini berpotensi memengaruhi ketepatan atau kedalaman pengukuran keterampilan berpikir kritis siswa, terutama jika soal belum dikalibrasi berdasarkan level kognitif atau konteks saintifik yang sesuai.

Ada beberapa keunggulan e-modul berbasis AR ini yang terletak pada:

1. Kemampuannya mengubah konsep abstrak menjadi pengalaman visual konkret, sehingga lebih mudah dipahami oleh siswa,
2. Penggunaan fitur interaktif, reflektif, dan berbasis eksplorasi, yang tidak tersedia dalam metode konvensional,
3. Rancangannya yang diarahkan untuk mendorong kemampuan berpikir kritis, bukan sekadar menyampaikan informasi.

Oleh karena itu, meskipun masih terdapat kekurangan pada aspek penyusunan instrumen evaluasi, secara keseluruhan e-modul ini mampu memberikan dampak positif terhadap proses dan hasil pembelajaran, serta menunjukkan potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dalam pembelajaran berbasis teknologi interaktif yang mendukung capaian pembelajaran abad ke-21.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka diperoleh kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. E-modul berbasis AR pada materi Induksi Elektromagnetik yang dikembangkan dinyatakan sangat valid untuk digunakan dalam pembelajaran Fisika guna meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Hal ini dibuktikan melalui hasil validasi oleh ahli materi dengan skor rata-rata 4,57, ahli desain 4,35, dan ahli media 4,52, yang seluruhnya termasuk dalam kategori sangat layak. Aspek-aspek seperti isi materi, kebahasaan, tampilan visual, navigasi, serta pemrograman telah dinilai sesuai dan mendukung pembelajaran berbasis teknologi yang inovatif.
2. E-modul berbasis AR pada materi Induksi Elektromagnetik yang dikembangkan menunjukkan tingkat kepraktisan yang sangat tinggi berdasarkan hasil uji skala besar terhadap 27 siswa dan penilaian oleh dua guru fisika. Rata-rata kepraktisan dari siswa adalah 85,3% (kategori sangat praktis), dengan aspek tertinggi pada penyajian (88,3%). Penilaian guru menunjukkan rata-rata skor 4,60 dari skala 5 (kategori sangat praktis), yang mencakup kemudahan penggunaan, tampilan menarik, serta relevansi terhadap kebutuhan pembelajaran. Kendala teknis yang muncul pada tahap awal berhasil diatasi melalui penyempurnaan sistem akses *virtual lab*, yang semakin mendukung kepraktisan produk.
3. E-modul berbasis AR pada materi Induksi Elektromagnetik yang dikembangkan efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, khususnya pada materi yang bersifat aplikatif dan menyeluruh dibuktikan melalui uji *pretest* dan *posttest* selama tiga pertemuan, yang dianalisis menggunakan uji N-Gain. Nilai N-Gain tertinggi diperoleh pada pertemuan ketiga sebesar 0,67 (kategori sedang), dengan rata-rata skor *posttest* mencapai 89, melampaui Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) Fisika yaitu 80.

5.2 Implikasi

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting terhadap pengembangan pembelajaran Fisika, khususnya dalam konteks penerapan teknologi berbasis *augmented reality* (AR) sebagai media pembelajaran interaktif di tingkat pendidikan menengah. E-modul berbasis AR yang dikembangkan terbukti valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, sehingga memberikan kontribusi langsung terhadap pencapaian tujuan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan literasi digital, pemecahan masalah, dan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*).

Secara pedagogis, keberhasilan implementasi e-modul ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi AR dalam bahan ajar dapat memperkuat pendekatan *student-centered learning* dengan menyediakan pengalaman belajar yang bersifat visual, kontekstual, dan eksploratif. Hal ini berdampak pada peningkatan partisipasi aktif siswa, memperkuat koneksi antara konsep abstrak dan fenomena nyata, serta mendorong kemampuan reflektif siswa melalui interaksi langsung dengan objek-objek virtual yang relevan dengan materi pelajaran.

Dari sisi kurikulum dan pengembangan profesional guru, temuan ini menegaskan pentingnya pembaruan model pembelajaran dan perangkat ajar yang adaptif terhadap perkembangan teknologi. Guru perlu diberikan pelatihan yang memadai dalam memanfaatkan media berbasis AR, serta didorong untuk mengembangkan perangkat ajar digital yang mampu mengakomodasi karakteristik siswa saat ini yang cenderung visual, digital-native, dan membutuhkan pengalaman belajar yang dinamis. Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi guru, pengembang media pembelajaran, maupun pemangku kebijakan pendidikan dalam merancang strategi pembelajaran inovatif yang relevan dengan konteks pendidikan digital.

Penelitian ini juga mendukung upaya transformasi digital dalam dunia pendidikan yang saat ini tengah digalakkan oleh pemerintah. Pengembangan e-modul berbasis AR yang terbukti layak secara ilmiah dan aplikatif menunjukkan bahwa inovasi teknologi dalam pembelajaran bukan hanya sekadar tren, tetapi menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains yang bermakna, efektif, dan menyenangkan bagi siswa.

5.3 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan kendala yang ditemui selama pelaksanaan, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Saran Umum Berdasarkan Temuan Penelitian:
 - a. Bagi Guru, disarankan untuk tidak hanya menggunakan e-modul berbasis AR sebagai media pelengkap, tetapi juga mengintegrasikannya secara menyeluruh ke dalam proses pembelajaran, baik dalam kegiatan eksplorasi konsep maupun penguatan keterampilan berpikir kritis.
 - b. Bagi Siswa, disarankan untuk lebih aktif dalam mengeksplorasi fitur interaktif e-modul berbasis AR dan tidak hanya membaca materi secara linear, agar dapat mengoptimalkan potensi media ini dalam mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi.
 - c. Bagi Sekolah, diharapkan mendukung pemanfaatan media pembelajaran inovatif seperti e-modul berbasis AR dengan penyediaan fasilitas pendukung seperti koneksi internet stabil, perangkat yang kompatibel, serta pelatihan penggunaan media berbasis teknologi.
2. Saran Berdasarkan Kendala Penelitian:
 - a. Terkait akses virtual lab, peneliti menyarankan agar pengembang e-modul selanjutnya menyediakan fitur virtual lab yang dapat diakses secara langsung di dalam aplikasi atau e-modul, tanpa harus mengunduh file terpisah dari Google Drive. Hal ini penting untuk mengurangi ketergantungan pada aplikasi dokumen pihak ketiga dan untuk menghindari perubahan format file.
 - b. Lebih fokus pada observasi langsung tentang bagaimana siswa berinteraksi dengan konten fisika pada e-modul berbasis AR dan bagaimana interaksi ini memengaruhi pemahaman siswa. Jika e-modul memiliki fitur eksperimen virtual, catat bagaimana siswa menjalankan percobaan tersebut. Apakah siswa mengikuti prosedur dengan benar? Apakah siswa bisa memprediksi hasil eksperimen dan menjelaskan hubungan sebab-akibat berdasarkan data yang dilihat di layar.
 - c. Mengingat beberapa siswa mengalami kendala karena keterbatasan kapasitas memori perangkat, maka disarankan agar

pengembang mengoptimalkan ukuran file e-modul dan virtual lab agar lebih ringan, tanpa mengurangi kualitas konten maupun fitur interaktif.

- d. E-modul ini digunakan dalam konteks pembelajaran mandiri dengan pengawasan terbatas, maka di masa depan disarankan untuk menambahkan fitur pelacakan aktivitas siswa atau sistem umpan balik otomatis guna membantu guru memantau keterlibatan dan pemahaman siswa selama penggunaan.
3. Saran untuk Penelitian Selanjutnya:
 - a. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji e-modul berbasis AR ini dalam konteks pembelajaran kolaboratif atau model pembelajaran aktif lainnya untuk melihat pengaruhnya terhadap keterampilan lain seperti komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas.
 - b. Menggunakan instrumen tes keterampilan berpikir kritis dari sumber rujukan yang valid. Peneliti selanjutnya dapat menambahkan teknik pengumpulan data kualitatif seperti wawancara mendalam atau observasi terstruktur untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai dampak penggunaan media terhadap proses belajar siswa.