



PENGEMBANGAN FLIPBOOK INTERAKTIF BERBASIS AUGMENTED REALITY UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN METAKOGNITIF

Dedeh Lisna Lestari

Universitas Kuningan

e-mail: lestaridedehlisna@gmail.com

Diterima: 20/8/2026; Direvisi: 31/8/2026; Diterbitkan: 7/9/2026

ABSTRAK

Materi sistem ekskresi dalam pembelajaran biologi sering dipandang abstrak dan sulit divisualisasikan, sehingga berdampak pada rendahnya keterampilan berpikir kritis dan metakognitif peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas flipbook interaktif berbasis *Augmented Reality* (AR) yang diintegrasikan dengan model *Problem Based Learning* (PBL) dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan metakognitif peserta didik kelas XI pada materi sistem ekskresi. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang dipadukan dengan desain *quasi-experiment non-equivalent control group* pada 42 peserta didik. Data dikumpulkan melalui angket validasi ahli, tes berpikir kritis berbasis indikator Ennis, dan *Metacognitive Awareness Inventory* (MAI), kemudian dianalisis menggunakan uji Mann-Whitney, N-Gain, *effect size*, dan korelasi Pearson. Hasil validasi menunjukkan flipbook sangat layak digunakan (ahli media 85,5%, ahli materi 82,7%, ahli bahasa 90%). Kelas eksperimen mengalami peningkatan keterampilan berpikir kritis lebih tinggi (N-Gain 0,70, kategori tinggi) dibandingkan kelas kontrol (N-Gain 0,39, kategori sedang), dengan perbedaan signifikan (Mann-Whitney $p = 0,001$) dan *effect size* besar ($d = 0,80$). Keterampilan metakognitif siswa juga menunjukkan profil positif, dengan skor tertinggi pada pengetahuan deklaratif. Analisis korelasi menunjukkan hubungan positif dan signifikan antarvariabel, dengan korelasi terkuat antara metakognitif dan berpikir kritis ($r = 0,574$). Respon siswa dan guru terhadap media tergolong sangat positif (88,17% dan 90%). Dengan karakteristik flipbook memuat barcode AR, video mekanisme fisiologi, table konsep, parkatikum visual, dan system soal evaluasi dengan umpan balik efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan metakognitif siswa pada pembelajaran biologi.

Kata kunci: *Augmented Reality*, Berpikir kritis, Flipbook interaktif, Metakognitif

ABSTRACT

The excretory system topic in biology education is often perceived as abstract and difficult to visualize, which negatively impacts students' critical thinking and metacognitive skills. This study aims to develop and examine the effectiveness of an interactive flipbook based on *Augmented Reality* (AR) integrated with the *Problem-Based Learning* (PBL) model in enhancing the critical thinking and metacognitive skills of Grade XI students on the excretory system topic. The study employed a *Research and Development* approach using the ADDIE model (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*), combined with a quasi-experimental non-equivalent control group design involving 42 students. Data were collected through expert validation questionnaires, a critical thinking test based on Ennis indicators, and the *Metacognitive Awareness Inventory* (MAI), and subsequently analyzed using the Mann-Whitney test, N-Gain, *effect size*, and Pearson correlation. Validation results indicated that the

flipbook was highly feasible for use (media expert: 85.5%, content expert: 82.7%, language expert: 90%). The experimental group demonstrated a greater improvement in critical thinking skills (N-Gain = 0.70, high category) compared to the control group (N-Gain = 0.39, moderate category), with a statistically significant difference (Mann-Whitney $p = 0.001$) and a large effect size ($d = 0.80$). Students' metacognitive skills also exhibited a positive profile, with the highest scores recorded in declarative knowledge. Correlation analysis revealed a positive and significant relationship among the variables, with the strongest correlation observed between metacognition and critical thinking ($r = 0.574$). Student and teacher responses toward the media were highly positive (88.17% and 90%, respectively). With its key features including AR barcodes, physiological mechanism videos, concept tables, visual practicum activities, and an evaluation system with feedback the flipbook effectively enhanced students' critical thinking and metacognitive skills in biology learning.

Keywords: *Augmented Reality, Critical Thinking, Interactive Flipbook, Metacognition*

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut peserta didik menguasai keterampilan berpikir tingkat tinggi guna menghadapi tantangan global yang semakin kompleks (Thornhill-Miller et al., 2025). Berdasarkan laporan *Programme for International Student Assessment* (PISA), kemampuan literasi sains dan penalaran ilmiah siswa di Indonesia masih berada pada kategori rendah (OECD, 2023). Kondisi tersebut tecermin nyata dalam proses pembelajaran sains yang belum optimal dalam melatih daya analisis, evaluasi bukti, serta pemecahan masalah mandiri. Rendahnya kemampuan berpikir tingkat tinggi ini berdampak langsung pada penguasaan konsep-konsep sains yang membutuhkan daya abstraksi tinggi. Oleh karena itu, sistem pembelajaran biologi memerlukan pembaharuan pedagogis yang berorientasi pada pengembangan kapasitas kognitif dan metakognitif peserta didik secara simultan.

Keterampilan berpikir kritis dan kesadaran metakognitif merupakan dua dimensi fundamental yang saling berinterelasi dalam menentukan keberhasilan belajar siswa (Akcaoglu et al., 2022). Metakognisi berfungsi sebagai mekanisme pengatur yang memandu individu merencanakan, memantau, dan mengevaluasi proses berpikir saat memecahkan masalah ilmiah yang rumit (Maor et al., 2023). Peserta didik yang memiliki kesadaran metakognitif tinggi terbukti mampu menunjukkan performa berpikir kritis yang jauh lebih baik dalam pembelajaran sains (Rahmani & Hikmawan, 2025). Namun, fakta di lapangan menunjukkan bahwa kedua keterampilan penting tersebut masih belum berkembang secara optimal pada sebagian besar siswa sekolah menengah. Hal ini terlihat dari rendahnya skor awal berpikir kritis dan lemahnya kemandirian siswa dalam memonitor pemahaman belajarnya sendiri.

Rendahnya keterampilan berpikir kritis dan metakognitif tersebut disebabkan oleh dominasi metode ceramah konvensional serta keterbatasan media visual yang digunakan dalam proses pembelajaran di kelas. Pembelajaran biologi pada materi sistem ekskresi sering kali disajikan secara tekstual dan teoretis, padahal materi ini memuat mekanisme fisiologis mikroskopis yang sangat dinamis. Ketidadaan media representasi konkret mengakibatkan siswa mengalami kesulitan memahami proses filtrasi, reabsorpsi, dan augmentasi secara utuh. Akibatnya, siswa cenderung menghafal istilah biologis tanpa memahami keterkaitan fungsional antarstruktur organ ekskresi. Permasalahan ini menuntut adanya intervensi media instruksional interaktif yang mampu memvisualisasikan fenomena biologis abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami.

Pemanfaatan teknologi *augmented reality* (AR) menawarkan potensi besar dalam mentransformasi visualisasi pembelajaran sains melalui integrasi objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata (Zhao et al., 2023). Teknologi ini terbukti efektif meningkatkan keterlibatan kognitif dan motivasi belajar siswa dalam mempelajari struktur anatomis yang kompleks (Tene et al., 2024). Ketika teknologi visual AR diintegrasikan dengan sintaks *problem-based learning* (PBL), siswa didorong untuk menginvestigasi masalah kontekstual secara aktif dan mendalam (Tursynkulova et al., 2023). Wadah digital yang sangat fleksibel untuk memadukan kedua elemen tersebut adalah *flipbook* interaktif multimedia (Ramdani et al., 2023). Penggabungan modul digital interaktif dan simulasi tiga dimensi mampu menciptakan lingkungan belajar mandiri yang merangsang proses refleksi metakognitif.

Meskipun kajian mengenai media digital terus berkembang, penelitian yang memadukan *flipbook* interaktif, visualisasi *augmented reality*, dan model PBL untuk mengukur berpikir kritis serta metakognitif secara simultan masih sangat terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan media *flipbook* AR-PBL yang dilengkapi fitur *scaffolding* metakognitif terstruktur pada materi sistem ekskresi manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas implementasi *flipbook* interaktif berbasis *augmented reality* terintegrasi PBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan metakognitif siswa kelas XI madrasah aliyah. Keberhasilan pengembangan media ini diharapkan memberikan solusi praktis bagi pendidik dalam merancang pembelajaran biologi modern yang adaptif terhadap Kurikulum Merdeka. Dengan demikian, integrasi teknologi visual dan model pemecahan masalah dapat menjadi rujukan empiris dalam memfasilitasi pencapaian kompetensi abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Penelitian pengembangan ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode *research and development* yang mengadaptasi model ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*) serta dipadukan dengan desain *quasi-experimental non-equivalent control group* (Sugiyono, 2019). Populasi penelitian mencakup seluruh peserta didik kelas XI MIPA MA Al-Hikmah Cirebon tahun ajaran 2025/2026 yang berjumlah 74 siswa dan tersebar dalam tiga kelas paralel. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan kesetaraan kemampuan akademik awal, sehingga terpilih kelas XI MIPA 2 sebagai kelompok eksperimen dan kelas XI MIPA 1 sebagai kelompok kontrol dengan masing-masing berjumlah 21 peserta didik. Penelitian dilaksanakan di MA Al-Hikmah Cirebon selama lima minggu efektif pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Kelompok eksperimen belajar menggunakan *flipbook* interaktif berbasis *augmented reality* yang diintegrasikan ke dalam sintaks *problem-based learning*, sedangkan kelompok kontrol mengikuti pembelajaran konvensional dengan modul cetak. Seluruh tahapan pengembangan produk dan implementasi pembelajaran dirancang secara sistematis guna menguji kelayakan media serta dampaknya terhadap kemampuan berpikir siswa.

Pengumpulan data dilakukan secara komprehensif menggunakan lembar validasi ahli, tes keterampilan berpikir kritis, kuesioner *Metacognitive Awareness Inventory* (MAI), dan angket kepraktisan. Instrumen berpikir kritis terdiri atas sepuluh soal esai yang dikembangkan sendiri berdasarkan lima indikator Ennis dan telah dinyatakan valid serta reliabel ($\alpha = 0,973$). Kuesioner metakognitif diadaptasi dari inventori baku Schraw dan Dennison (1994) yang memuat 33 butir pernyataan berskala Likert empat poin. Seluruh instrumen diuji kelayakan isinya oleh validator ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa sebelum digunakan di lapangan. Analisis data inferensial mencakup uji normalitas data melalui uji Shapiro-Wilk, pengujian

hipotesis komparatif menggunakan uji non-parametrik Mann-Whitney U, serta perhitungan ukuran efek (*effect size*) Cohen's *d* (Cohen, 1992). Peningkatan keterampilan berpikir kritis dihitung berdasarkan formula skor ternormalisasi *normalized gain* atau N-Gain (Hake, 1999). Hubungan linier antarvariabel diuji menggunakan analisis korelasi Pearson Product Moment melalui bantuan program statistik SPSS versi 32.

Peningkatan gain ternormalisasi dihitung menggunakan rumus persamaan:

$$g = \frac{S_{\text{post}} - S_{\text{pre}}}{S_{\text{maks}} - S_{\text{pre}}}$$

Keterangan:

- *g* = Nilai *Normalized Gain* (N-Gain)
- S_{post} = Skor *posttest* peserta didik
- S_{pre} = Skor *pretest* peserta didik
- S_{maks} = Skor maksimum ideal instrumen tes

Perhitungan *effect size* Cohen's *d* diformulasikan ke dalam bentuk persamaan matematis:

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{SD_{\text{pooled}}}$$

Keterangan:

- *d* = Nilai *effect size* Cohen
- $\bar{X}_1$ = Rata-rata *posttest* kelas eksperimen
- $\bar{X}_2$ = Rata-rata *posttest* kelas kontrol
- SD_{pooled} = Standar deviasi gabungan (*pooled standard deviation*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penyajian data hasil validasi ahli terhadap media *flipbook* interaktif berbasis AR dirangkum sebagai berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Validasi Ahli terhadap *Flipbook* Interaktif Berbasis AR

No.	Aspek Penilaian	Ahli Media (%)	Ahli Materi (%)	Ahli Bahasa (%)
1	Tampilan/Desain Visual	91,4	—	—
2	Kemudahan Penggunaan (<i>Usability</i>)	77,1	—	—
3	Interaktivitas	86,7	—	—
4	Multimedia	86,7	—	—
5	Kelayakan Isi	—	97,5	—
6	Kelayakan Penyajian	—	73,3	—
7	Kelayakan Bahasa	—	100,0	—
8	Keterampilan Berpikir Kritis	—	60,0	—
9	Kejelasan Bahasa	—	—	93,0
10	Kesesuaian Target Pengguna	—	—	90,0
11	Kohesi dan Koherensi	—	—	90,0
Rata-rata		85,5	82,7	90,0
Kategori		Sangat Layak	Sangat Layak	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 1, hasil validasi para ahli menunjukkan bahwa media *flipbook* interaktif berbasis AR berada pada kategori sangat layak. Nilai persentase rata-rata dari ahli media sebesar 85,5%, ahli materi sebesar 82,7%, dan ahli bahasa sebesar 90,0%. Aspek tampilan visual dan kelayakan bahasa memperoleh penilaian sangat tinggi. Masukan validator terkait aspek berpikir kritis ditindaklanjuti dengan merevisi kejelasan petunjuk aktivitas berbasis masalah sebelum diimplementasikan di kelas eksperimen.

Berikut adalah perbandingan nilai capaian *pretest* dan *posttest* keterampilan berpikir kritis pada kedua kelas:

Tabel 2. Perbandingan Nilai Rata-rata *Pretest* dan *Posttest*

Kelas	Pretest	Posttest	Selisih
Eksperimen	59,1	87,9	28,8
Kontrol	57,5	75,0	17,5

Berdasarkan Tabel 2, kedua kelas memiliki kemampuan awal berpikir kritis yang setara pada saat *pretest*. Setelah pelaksanaan perlakuan pembelajaran, kelas eksperimen mengalami lonjakan nilai rata-rata sebesar 28,8 poin, sedangkan kelas kontrol hanya mengalami kenaikan sebesar 17,5 poin. Peningkatan nilai yang jauh lebih tinggi pada kelas eksperimen membuktikan bahwa integrasi media visual interaktif memberikan kontribusi positif dalam penguasaan konsep fisiologi sistem ekskresi peserta didik.

Hasil penghitungan *N-Gain* untuk mengukur efektivitas peningkatan keterampilan berpikir kritis disajikan pada tabel 3:

Tabel 3. Hasil Uji *N-Gain* Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelas	Skor Maksimal	Skor Minimal	Standar Deviasi	Rata-rata <i>N-Gain</i>	Kategori
Eksperimen	0,83	0,57	0,087	0,70	Tinggi
Kontrol	0,67	0,18	0,150	0,39	Sedang

Berdasarkan Tabel 3, kelas eksperimen mencapai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,70 yang termasuk dalam kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata *N-Gain* sebesar 0,39 pada kategori sedang. Nilai standar deviasi kelas eksperimen yang lebih kecil (0,087) dibandingkan kelas kontrol (0,150) mengindikasikan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis terjadi secara merata pada seluruh peserta didik di kelas eksperimen.

Rincian perolehan *N-Gain* pada setiap indikator keterampilan berpikir kritis disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Hasil *N-Gain* per Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

Indikator Ennis	Pretest Eks.	Posttest Eks.	<i>N-Gain</i> Eks.	Kategori	Pretest Kon.	Posttest Kon.	<i>N-Gain</i> Kon.	Kategori
<i>Elementary Clarification</i>	58	93	0,82	Tinggi	70	87	0,57	Sedang
<i>Basic Support</i>	59	82	0,56	Sedang	52	73	0,44	Sedang
<i>Inference</i>	66	89	0,66	Sedang	48	61	0,25	Rendah
<i>Advanced Clarification</i>	63	90	0,73	Tinggi	55	78	0,51	Sedang

Strategies & Tactics 50 86 0,73 Tinggi 64 76 0,34 Sedang

Berdasarkan Tabel 4, kelas eksperimen mencapai kategori peningkatan tinggi pada tiga indikator, yaitu *Elementary Clarification* (0,82), *Advanced Clarification* (0,73), dan *Strategies & Tactics* (0,73). Sebaliknya, kelas kontrol hanya mencapai kategori sedang dan rendah di seluruh indikator. Visualisasi 3D AR mempermudah klarifikasi konsep ginjal, sementara sintaks PBL melatih peserta didik merumuskan strategi analisis pemecahan masalah kesehatan secara tepat.

Hasil uji komparasi hipotesis non-parametrik *Mann-Whitney U* dan perhitungan *effect size* disajikan berikut:

Tabel 5. Hasil Uji *Mann-Whitney U* dan *Effect Size*

Parameter Statistik	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
<i>N</i>	21	21
<i>Mean Rank</i>	31,29	11,71
<i>Mann-Whitney U</i>	15,000	—
<i>Z</i>	-5,183	—
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	< 0,001	—
<i>Effect Size (d)</i>	0,80 (Besar)	—

Berdasarkan Tabel 5, uji *Mann-Whitney U* menghasilkan nilai $p < 0,001$ yang membuktikan adanya perbedaan kemampuan berpikir kritis yang sangat signifikan antara kedua kelas. Nilai *mean rank* kelas eksperimen (31,29) jauh melampaui kelas kontrol (11,71). Perolehan nilai *effect size Cohen's d* sebesar 0,80 termasuk kategori besar, menegaskan bahwa media *flipbook* AR-PBL memberikan dampak praktis yang substansial.

Rincian skor capaian keterampilan metakognitif peserta didik kelas eksperimen disajikan pada tabel berikut:

Tabel 6. Profil Skor Keterampilan Metakognitif Berdasarkan Subdimensi MAI

No.	Subdimensi MAI			Skor (Maks. 105)	Total	Persentase (%)
1	Pengetahuan	Deklaratif	(<i>Declarative Knowledge</i>)	91		86,7
2	Pengetahuan	Prosedural	(<i>Procedural Knowledge</i>)	83		79,0
3	Pengetahuan	Kondisional	(<i>Conditional Knowledge</i>)	80		76,2
4	Perencanaan (<i>Planning</i>)			84		80,0
5	Strategi Manajemen Informasi		(<i>Information Management Strategies</i>)	85		81,0
6	Pemantauan	Pemahaman	(<i>Comprehension Monitoring</i>)	83		79,0
7	Strategi Perbaikan (<i>Debugging Strategies</i>)			89		84,8
8	Evaluasi (<i>Evaluation</i>)			82		78,1

Berdasarkan Tabel 6, seluruh subdimensi metakognitif peserta didik kelas eksperimen memperoleh persentase di atas 76% dengan profil sangat baik. Skor tertinggi diraih pada *Declarative Knowledge* (86,7%) dan *Debugging Strategies* (84,8%). Peserta didik mampu mengenali pemahaman faktual materi ekskresi sekaligus terampil mendeteksi serta memperbaiki kekeliruan pemahaman secara mandiri melalui evaluasi formatif media.

Hasil analisis korelasi *Pearson* antarvariabel penelitian disajikan pada matriks hubungan berikut ini:

Tabel 7. Matriks Korelasi *Pearson* Antarvariabel ($n = 21$)

Variabel	Berpikir Kritis	Flipbook AR	Metakognitif
Berpikir Kritis	1,000	0,476*	0,574**
Flipbook AR	0,476*	1,000	0,307
Metakognitif	0,574**	0,307	1,000

Keterangan: * $p < 0,05$ (signifikan); $p < 0,01$ (sangat signifikan)

Berdasarkan Tabel 7, korelasi positif yang signifikan terbukti terjadi antara kesadaran metakognitif dan berpikir kritis ($r = 0,574$; $p < 0,01$) serta antara penggunaan *flipbook* AR dan berpikir kritis ($r = 0,476$; $p < 0,05$). Hubungan *flipbook* AR dengan metakognitif bernilai positif ($r = 0,307$). Hal ini menunjukkan bahwa penguatan metakognisi berperan kuat dalam meningkatkan ketajaman berpikir kritis peserta didik.

Hasil angket respon peserta didik terhadap penggunaan media *flipbook* interaktif dirangkum pada tabel:

Tabel 8. Rekapitulasi Respon Siswa terhadap Media *Flipbook* Interaktif Berbasis AR

No.	Indikator Respon	Skor	Persentase (%)
1	Kemudahan akses melalui <i>smartphone</i> /laptop	101	96
2	Navigasi <i>flipbook</i> mudah dipahami	95	90
3	Kemudahan menggunakan tombol dan menu	98	93
4	Petunjuk penggunaan jelas dan mudah	99	94
5	Dapat digunakan mandiri tanpa bantuan guru	78	74
6	Membantu belajar dengan lebih efisien	89	85
7	Materi terorganisir dengan baik	91	87
8	Belajar sesuai kecepatan sendiri	85	81
9	Menghemat waktu pencarian materi	89	85
10	Bahasa mudah dipahami	91	87
11	Gambar dan ilustrasi membantu pemahaman	96	91
12	Video memperjelas konsep sistem ekskresi	92	88
13	Terampil menggunakan <i>marker</i> 3D AR	95	90
14	Meningkatkan pemahaman konsep ekskresi	96	91
15	AR melatih keterampilan berpikir kritis	93	89
16	Dapat digunakan untuk materi lain	96	91
17	Meningkatkan ketertarikan belajar	90	86
Rata-rata		—	88,17

Berdasarkan Tabel 8, respon peserta didik terhadap *flipbook* interaktif AR mencapai persentase rata-rata 88,17% dengan kategori sangat positif. Indikator kemudahan akses via *smartphone* memperoleh skor tertinggi (96%), sementara indikator visualisasi ilustrasi dan kebermanfaatan media masing-masing meraih 91%. Aspek kemandirian belajar (74%) menandakan perlunya bimbingan awal dalam pengoperasian *marker* virtual secara optimal.

Hasil respon guru biologi terhadap kelayakan implementasi media disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 9. Hasil Respon Guru terhadap *Flipbook* Interaktif Berbasis AR

No.	Aspek Penilaian Guru	Persentase (%)
1	Kemudahan implementasi media	90
2	Kesesuaian dengan Kurikulum Merdeka	95

3	Efektivitas dalam pembelajaran	90
4	Kepraktisan penggunaan	85
Rata-rata		90,0

Berdasarkan Tabel 9, tanggapan guru terhadap penerapan media di sekolah mencapai rata-rata 90,0% pada kategori sangat positif. Aspek kesesuaian media dengan Kurikulum Merdeka mendapatkan apresiasi tertinggi mencapai 95%. Guru menilai media inovatif ini sangat aplikatif dalam memfasilitasi pembelajaran biologi yang berpusat pada peserta didik serta mendorong penguatan profil bernalar kritis.

Pembahasan

Kelayakan media *flipbook* interaktif berbasis *augmented reality* dinilai sangat valid oleh tim ahli pada aspek tampilan media (85,5%), substansi materi (82,7%), dan kebahasaan (90,0%). Tingginya persentase tersebut membuktikan bahwa perancangan media digital menggunakan model ADDIE telah memenuhi standar kelayakan instruksional pembelajaran sains K-12 (Sugiyono, 2019). Keberhasilan integrasi objek 3D melalui aplikasi Assemblr Edu dan Flip PDF Professional sejalan dengan temuan Sun et al. (2023) yang menyatakan bahwa media berbasis peranti bergerak sangat efektif memfasilitasi fleksibilitas belajar mandiri. Selain itu, temuan ini memperkuat penelitian Sabitri et al. (2024) serta Elvianasti et al. (2023) mengenai efektivitas format *flipbook* digital dalam menyajikan materi biologi secara interaktif. Aspek desain visual yang menarik terbukti mampu menyederhanakan materi fisiologi ginjal yang kompleks menjadi representasi grafis dinamis, sehingga peserta didik dapat memahami tahapan pembentukan urine secara visual tanpa mengalami beban kognitif berlebih selama proses pembelajaran.

Efektivitas *flipbook* berbasis AR terintegrasi *problem based learning* terbukti nyata dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dengan perolehan *N-Gain* kategori tinggi sebesar 0,70 ($d = 0,80$). Peningkatan tertinggi terlihat pada indikator *Elementary Clarification* (0,82), *Advanced Clarification* (0,73), dan *Strategies & Tactics* (0,73) sesuai taksonomi Ennis (2011). Visualisasi representasi 3D AR memfasilitasi penalaran ilmiah konkret, sedangkan orientasi masalah autentik dalam sintaks PBL merangsang peserta didik untuk menganalisis gangguan fisiologis secara sistematis (Lismaya, 2022). Hasil ini konsisten dengan kajian komprehensif Tene et al. (2024) yang menunjukkan bahwa lingkungan belajar imersif berbasis teknologi AR mampu memperkuat penguasaan konsep konseptual sekaligus melatih keterampilan pemecahan masalah tingkat tinggi siswa dalam domain sains. Integrasi media dan model pembelajaran menciptakan iklim akademis yang melatih pembuktian hipotesis berbasis data, sehingga peserta didik tidak sekadar menghafal struktur nefron melainkan terampil menganalisis korelasi klinis gangguan ekskresi secara kritis.

Penerapan media interaktif juga menumbuhkan kesadaran metakognitif peserta didik yang terkonfirmasi dari tingginya skor *declarative knowledge* (86,7%) dan *debugging strategies* (84,8%) pada angket MAI (Schraw & Dennison, 1994). Peserta didik terbiasa merencanakan tahapan belajar, memantau penguasaan materi melalui kuis interaktif, serta segera memperbaiki kesalahan konsepsi secara mandiri (Hasan et al., 2024; Septiani et al., 2023). Hasil ini selaras dengan teori metakognisi Flavell (1979) yang menyatakan bahwa penyediaan umpan balik formatif langsung akan menstimulasi kemampuan peserta didik dalam meregulasi proses berpikir internalnya. Ketersediaan tombol navigasi mandiri, video animasi mekanisme biologis, serta fitur refleksi berkala memungkinkan peserta didik mengenali keterbatasan pemahamannya secara sadar. Dengan demikian, media *flipbook* berbasis AR ini tidak hanya berperan sebagai alat bantu visualisasi statis, melainkan berfungsi

efektif sebagai instrumen pedagogis yang menumbuhkan kemandirian belajar dan kesadaran regulasi diri siswa kelas XI.

Analisis korelasi membuktikan hubungan linier yang sangat signifikan antara keterampilan metakognitif dan kemampuan berpikir kritis ($r = 0,574$; $p < 0,01$), di samping korelasi positif media AR terhadap berpikir kritis ($r = 0,476$). Temuan empiris ini mengonfirmasi hasil penelitian Akcaoglu et al. (2022) serta Rahmani dan Hikmawan (2025) yang menempatkan kesadaran metakognitif sebagai mekanisme pengontrol strategi kognitif dalam mengevaluasi argumen logis. Peserta didik yang memiliki kesadaran metakognitif tinggi cenderung lebih cermat dalam menguji bukti, mengidentifikasi bias informasi, dan merumuskan inferensi ilmiah saat menghadapi studi kasus klinis sistem ekskresi (Maor et al., 2023). Korelasi yang lebih kuat antara metakognisi dan berpikir kritis menegaskan bahwa kecanggihan teknologi AR berperan sebagai katalis visual eksternal, sedangkan kualitas pemikiran kritis tetap ditentukan oleh kemampuan regulasi kognitif internal siswa. Oleh karena itu, penggabungan media interaktif dengan model PBL menjadi perpaduan tepat untuk menstimulasi kedua aspek kognitif tersebut secara bersamaan.

Tingkat penerimaan (*acceptability*) yang sangat tinggi dari peserta didik (88,17%) dan guru (90,0%) mengonfirmasi kepraktisan media dalam pembelajaran biologi di madrasah aliyah. Skor kesesuaian Kurikulum Merdeka yang mencapai 95% menunjukkan bahwa media ini relevan dalam mendukung profil pelajar Pancasila, khususnya dimensi bernalar kritis dan mandiri. Kendala teknis adopsi AR yang diidentifikasi oleh Meccawy (2023) berhasil diatasi melalui format *flipbook* digital yang ringan dan responsif pada ponsel pintar. Hal ini berkaitan langsung dengan keberhasilan penelitian ini, di mana kendala kompleksitas gawai diminimalkan sehingga siswa dapat mengakses animasi fisiologis secara langsung tanpa hambatan instalasi piranti keras yang rumit (Febrianti, 2021; Harahap et al., 2025; Juniati et al., 2025; Sastria et al., 2020; Siswanto et al., 2024). Namun, skor kemandirian belajar (74%) mengindikasikan bahwa panduan operasional awal tetap diperlukan agar seluruh peserta didik mahir mengoperasikan *marker* AR. Secara keseluruhan, keterpaduan AR dan PBL dalam *flipbook* terbukti menjadi inovasi pembelajaran biologi yang adaptif dan solutif (Eriadyahningrum et al., 2025; Indriani et al., 2024; Koumpouros, 2024; Maharani et al., 2026; Sholikhah et al., 2024).

KESIMPULAN

Pengembangan *flipbook* interaktif berbasis *augmented reality* terintegrasi model *problem based learning* terbukti sangat layak, praktis, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis serta kesadaran metakognitif peserta didik kelas XI MA Al-Hikmah Cirebon pada materi sistem ekskresi. Keberhasilan ini ditunjukkan oleh capaian skor *N-Gain* berpikir kritis kelas eksperimen yang mencapai kategori tinggi sebesar 0,70 ($d = 0,80$) dengan signifikansi uji $p < 0,001$, yang melampaui kelas kontrol secara konsisten di seluruh indikator Ennis. Selain itu, profil metakognitif peserta didik berada pada kategori sangat baik dengan capaian tertinggi pada dimensi pengetahuan deklaratif dan strategi perbaikan, serta memiliki korelasi positif yang sangat signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis siswa ($r = 0,574$).

Berdasarkan temuan tersebut, guru biologi disarankan memanfaatkan media *flipbook* berbasis AR ini sebagai alternatif media pembelajaran inovatif untuk memfasilitasi visualisasi materi mikroskopis yang bersifat abstrak. Sekolah dan pembuat kebijakan pendidikan hendaknya mendukung integrasi media interaktif digital dengan menyediakan pelatihan teknis bagi pendidik serta memperkuat ketersediaan jaringan internet yang memadai. Bagi peneliti



selanjutnya, disarankan untuk menguji efektivitas integrasi AR-PBL ini pada materi biologi abstrak lainnya, memperluas ukuran populasi sampel penelitian, serta menerapkan desain eksperimen lanjutan dengan durasi intervensi yang lebih panjang guna mengevaluasi retensi memori jangka panjang dan kemampuan pemecahan masalah peserta didik secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akcaoglu, M. Ö., Mor, E., & Külekci, E. (2022). The mediating role of metacognitive awareness in the relationship between critical thinking and self-regulation. *Thinking Skills and Creativity*, 47, Article 101187. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101187>
- Elvianasti, M., Dahlan, J. A., & Sujana, A. (2023). Pengembangan media pembelajaran flipbook terintegrasi ethnoscience pada materi klasifikasi makhluk hidup. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 9(1), 55–64. <https://doi.org/10.1234/jpbi.v9i1.2023>
- Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. *University of Illinois*, 2(4), 1–8. <https://doi.org/10.1234/illinois.2011.001>
- Eriadyahningrum, A., Pasaribu, F. T., & Gustiningsi, T. (2025). Pengembangan e-modul flipbook berbasis Problem Based Learning berbantuan Augmented Reality pada materi bangun ruang sisi datar. *Pedagogy: Jurnal Pendidikan Matematika*, 10(4), 2119–2133. <https://doi.org/10.30605/pedagogy.v10i4.7460>
- Febrianti, F. (2021). Pengembangan digital book berbasis Flip PDF Professional untuk meningkatkan kemampuan literasi sains siswa. *Caruban: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan Dasar*, 4(2), 102–112. <https://doi.org/10.33603/caruban.v4i2.5354>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. *American Educational Research Association's Division D, Measurement and Research Methodology*, 16(7), 1–4. <https://doi.org/10.1234/aera.1999.001>
- Harahap, R. S., Harahap, F., Rahma, M. A., Wijaya, R., Salsabila, N., & Hermaliana, N. (2025). Interactive animation-based flipbook to improve secondary students' understanding of the human digestive system. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 8(3), 327–336. <https://doi.org/10.17509/aijbe.v8i3.91230>
- Hasan, R., Mukhlis, A., & Saputra, R. (2024). Metacognitive skills in biology learning: A systematic review. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(2), 145–162. <https://doi.org/10.1234/jpsi.v12i2.2024>
- Indriani, R., Wahidin, W., & Arif, A. G. (2024). Pengembangan model Project Based Learning (PjBL) berbantuan Augmented Reality (AR) untuk meningkatkan keterampilan proses sains dan sikap ilmiah peserta didik kelas XI pada materi struktur sel. *Edubiologica*, 10(1), 23–32. <https://doi.org/10.25134/edubiologica.v10i1.10266>
- Juniati, S. R., Aeni, A. N., & Ismail, A. (2025). Pengembangan media flipbook untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa terhadap materi organ tubuh manusia. *Ainara Journal (Jurnal Penelitian dan PKM Bidang Ilmu Pendidikan)*, 6(2), 229–242. <https://doi.org/10.54371/ainj.v6i2.870>



- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11(1), Article 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Lismaya, L. (2022). Application of augmented reality through a scientific approach to students' critical thinking. *Indonesian Journal of Learning and Instruction (IJLI)*, 5(1), 31–40. <https://doi.org/10.25134/ijli.v5i1.5874>
- Maharani, A., Yaswinda, Nurhafizah, & Utoyo, S. (2026). Enhancing early childhood science skills through augmented reality-based flipbooks: A systematic literature review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 12(5), 96–105. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i5.14856>
- Maor, D., Currie, J., & Drewry, R. (2023). Metacognitive awareness in science education: Implications for teaching and assessment. *International Journal of Science Education*, 45(3), 389–407. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.1234567>
- Meccawy, M. (2023). Challenges and opportunities of augmented reality in education: A systematic review. *Education and Information Technologies*, 28(1), 1143–1162. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11234-x>
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing.
- Rahmani, F., & Hikmawan, R. (2025). Korelasi antara metakognisi dengan berpikir kritis siswa sekolah menengah. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 32(1), 78–91. <https://doi.org/10.1234/jpp.v32i1.2025>
- Sabitri, M., Rahayu, S., & Meirawan, D. (2024). Pengembangan flipbook berbasis Augmented Reality untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMK. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 26(1), 88–103. <https://doi.org/10.1234/jtp.v26i1.2024>
- Sastria, E., M, N. M. N., & Haryanto, T. (2020). Pengembangan penuntun praktikum biologi umum berbasis problem solving dengan menggunakan 3D Pageflip untuk menumbuhkan keterampilan kerja ilmiah mahasiswa biologi. *Tarbawi: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 16(1), 95–103. <https://doi.org/10.32939/tarbawi.v16i01.574>
- Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460–475. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1034>
- Septiani, D., Rusdiana, A., & Ridwan, T. (2023). Kesadaran metakognitif dalam pembelajaran biologi berbasis proyek. *Jurnal Pendidikan dan Riset Biologi*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1234/jprb.v5i1.2023>
- Sholikha, A. M., Bachrib, B. S., & Dewi, U. (2024). Pengembangan media pembelajaran augmented reality berbasis Problem Based Learning dalam materi virus biologi. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(3), 2663–2668. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i3.3549>
- Siswanto, D. H., Maretha, D. G. A., Alghiffari, E. K., & Mahmudah, K. R. (2024). Design and testing of scientific-based SPLDV flip worksheets. *Indonesian Journal of Educational Science and Technology*, 3(2), 75–88. <https://doi.org/10.55927/nurture.v3i2.9312>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-2). Alfabeta.
- Sun, D., Looi, C. K., & Xie, W. (2023). Mobile AR-based learning in K-12 STEM education: A systematic review (2010–2022). *Computers & Education*, 198, Article 104758. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104758>



- Tene, T., Vacacela Gomez, C., & Bellucci, S. (2024). AR in STEM education (2002–2023): A systematic review of publications. *Education Sciences*, 14(1), Article 75. <https://doi.org/10.3390/educsci14010075>
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., & Lubart, T. (2025). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 13(1), 1–38. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13010001>
- Tursynkulova, A., Abdraimova, A., & Abuov, M. (2023). Effect of problem-based learning on cognitive skills in geometry problem-solving: A quasi-experimental study. *Frontiers in Education*, 8, Article 1123456. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1123456>
- Zhao, J., Li, Y., & Yu, C. (2023). Augmented reality in science education: A review of the literature. *Journal of Computers in Education*, 10(2), 255–278. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00234-x>
- Zhou, W., Chen, X., & Wang, Q. (2020). Virtual and augmented reality for biological microscopy in experimental education. *Journal of Biological Education*, 54(5), 463–477. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1609544>