REPORT OF BIOLOGICAL EDUCATION
e-ISSN xxxxxxxx

Research Article/Article Review

Penerapan *E-Worksheet PjBL* Berbasis *AR* untuk Meningkatkan Kemampuan Tanggap dalam Perencanaan Penyelesaian Masalah Peserta Didik dalam Konsep Serangga: Pengembangan ke-4 *Digital Habits of Mind*

Sri Hartanti Pratami[1*], **Ida Yayu Nurul Hizqiyah[1*]**, Cartono[1], Ahmad Intan[2]

[1] Universitas Pasundan, Jl. Tamansari No. 4-8, Bandung, Indonesia, 40116
[2] Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia , 40132
Email : idayayunurulhizqiyah@unpas.ac.id
Telp. +62 1313131920

(Received: ___-___-____; Reviewed: ___-___-____; Revised: ___-___-____; Accepted: ___-___-____; Published: ___-___-____)

ABSTRAK

Latar belakang: Kemampuan tanggap dalam perencanaan penyelesaian masalah merupakan Indikator ke-4 *Digital Habits of Mind* (DhoM) yang masih belum berkembang optimal pada peserta didik. Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas *E-Worksheet Project Based Learning* (PjBL) berbasis *Augmented Reality* (AR) dalam mengembangkan kemampuan tersebut pada pembelajaran konsep serangga.

Metode: Penelitian menggunakan desain pre-eksperimental *(one-shot case study* dan *one group pretest-posttest*) pada 32 peserta didik kelas X-2 SMA Pasundan 2 Bandung melalui *purposive sampling*. *E-Worksheet* dikembangkan di *platform* Wizer.me terintegrasi model 3D serangga berbasis Sketchfab AR. Data dikumpulkan melalui lembar observasi (tiga sub-indikator kemampuan tanggap), pretest-posttest, angket respon, dan Kinerja Pembelajaran melalui *Peer Group Assessment*. Analisis menggunakan uji *Wilcoxon* dan Korelasi *Spearman's Rho*.

Hasil: Kemampuan tanggap berada pada kategori tinggi (mean = 7,11; kolaboratif = 91,7%). Penguasaan konsep meningkat signifikan (*N-Gain* = 0,72; *Wilcoxon* Z = -4,921; p < 0,001). Respon peserta didik sangat positif (86,3%–100%). Kinerja kelompok rata-rata 86% (Sangat Baik). Terdapat korelasi positif signifikan antara kemampuan tanggap dan penguasaan konsep (r = 0,531; p = 0,002), serta ditemukan fenomena *quiet achievers* dalam pembelajaran kolaboratif.

Simpulan: *E-Worksheet PjBL* berbasis *AR* terbukti efektif mengembangkan kemampuan tanggap peserta didik sebagai Indikator ke-4 DhoM dan bersifat inklusif lintas kemampuan awal.

Kata Kunci : *Augmented Reality; Digital Habits of Mind; E-Worksheet; kemampuan tanggap; Project Based Learning*

Application of AR-Based PjBL E-Worksheet to Enhance Students' Responsive Problem-Solving Planning Ability in Insect Concept Learning: Development of the 4th Digital Habits of Mind Indicator

ABSTRACT

Background: Responsive problem-solving planning ability, representing the 4th indicator of Digital Habits of Mind (DhoM), remains suboptimally developed among students. This study aimed to examine the effectiveness of Project Based Learning (PjBL) E-Worksheet based on Augmented Reality (AR) in developing this ability within insect concept learning.

Method: A pre-experimental design (one-shot case study and one-group pretest-posttest) was employed involving 32 10th-grade students at SMA Pasundan 2 Bandung through purposive sampling. The E-Worksheet was developed using Wizer.me integrated with Sketchfab-based 3D AR models. Data were collected through observational rubrics (three sub-indicators), pretest-posttest, questionnaires, and Peer Group Assessment. Wilcoxon test and Spearman's Rho correlation were applied.

Results: Responsive ability was in the high category (mean = 7.11; collaborative average = 91.7%). Conceptual mastery improved significantly (N-Gain = 0.72; Wilcoxon Z = -4.921; p < 0.001). Student responses were highly positive (86.3%–100%). Group performance averaged 86% (Very Good). A significant positive correlation existed between responsive ability and conceptual mastery (r = 0.531; p = 0.002), and a quiet achievers phenomenon was identified.

Conclusion: AR-based PjBL E-Worksheet effectively develops students' responsive ability as the 4th DhoM indicator and is pedagogically inclusive across initial ability levels.

Keywords : *Augmented Reality; Digital Habits of Mind; E-Worksheet; Project Based Learning; responsive ability*

PENDAHULUAN

Transformasi pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 dan *Society 5.0* menuntut peserta didik memiliki kompetensi abad ke-21 yang tidak sekadar berdimensi pengetahuan faktual, melainkan mencakup kemampuan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, komunikatif, dan berliterasi digital (DQ Institute, 2019). Dalam kerangka ini, *Digital Intelligence* (DQ) hadir sebagai konsep integratif yang menggabungkan dimensi kognitif, sosial, dan emosional dalam penggunaan teknologi digital secara bertanggung jawab (DQ Institute, 2019). Operasionalisasi DQ dalam konteks pembelajaran diwujudkan melalui pendekatan *Digital Habits of Mind* (DhoM), yaitu seperangkat kebiasaan berpikir reflektif, strategis, dan produktif yang memungkinkan peserta didik memanfaatkan teknologi digital secara bermakna (Hizqiyah et al., 2022).

Indikator ke-4 DhoM secara khusus menuntut peserta didik memiliki *kemampuan tanggap dalam perencanaan penyelesaian masalah*, yaitu kemampuan untuk secara cepat dan terarah merespons permasalahan, mengidentifikasi inti masalah, memilih informasi digital yang relevan, serta menyusun langkah penyelesaian yang sistematis (Yandari et al., 2019). Kemampuan ini semakin krusial mengingat hasil PISA 2022 menempatkan literasi sains Indonesia pada angka 383, data tersebut jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 485 (OECD, 2023). Data ini mengindikasikan bahwa mayoritas peserta didik Indonesia belum mampu merancang strategi penyelesaian masalah kompleks secara mandiri.

Pada pembelajaran biologi, konsep serangga (*Insecta*) memiliki potensi tinggi sebagai wahana pengembangan kemampuan tanggap karena menawarkan kompleksitas permasalahan ekologis yang autentik, mulai dari peran polinator, dinamika ekosistem, hingga ancaman pestisida. Namun, abstraksi morfologi dan peran ekologis serangga yang bersifat sulit diamati secara langsung, menjadi hambatan utama pemahaman konseptual peserta didik (Destiara et al., 2021). Kondisi ini diperparah oleh dominasi metode ceramah dan presentasi PPT statis yang belum mampu mendorong keterlibatan aktif dan berpikir tingkat tinggi (Sudirgayasa et al., 2025).

Model *Project Based Learning* (PjBL) dipandang sebagai solusi pedagogis yang kuat. PjBL menempatkan peserta didik sebagai pemecah masalah aktif melalui proyek autentik yang berangkat dari permasalahan nyata (Thomas, 2000; Bell, 2010). Hizqiyah et al. (2023) dalam tinjauan sistematisnya menegaskan bahwa PjBL memberikan kontribusi kuat terhadap pengembangan keterampilan hidup abad ke-21, termasuk kolaborasi, komunikasi, kreativitas, dan pemecahan masalah dalam pembelajaran biologi. Integrasi PjBL juga dinilai selaras dengan pengembangan DhoM, khususnya kemampuan tanggap dan terencana dalam penyelesaian masalah berbasis informasi digital (Nurmeidina et al., 2025).

Teknologi *Augmented Reality* (AR) menghadirkan dimensi baru yang revolusioner dalam pembelajaran biologi. AR memungkinkan peserta didik mengamati objek biologi, termasuk morfologi serangga, dalam representasi tiga dimensi yang interaktif melalui perangkat digital, menjembatani jurang antara abstraksi konseptual dan pengalaman empiris (Billinghurst & Duenser,

2012). Penelitian konsisten menunjukkan bahwa integrasi AR meningkatkan pemahaman konsep, motivasi, dan keterlibatan psikologis peserta didik karena menciptakan pengalaman belajar yang imersif (Akçayır et al., 2020; Çakır et al., 2019). *E-Worksheet* berbasis PjBL dengan dukungan AR mengintegrasikan ketiga komponen tersebut dalam satu platform digital yang memandu peserta didik melalui tahapan proyek mulai dari orientasi masalah, analisis data, perancangan solusi, hingga refleksi (Nauli et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji efektivitas AR dan PjBL secara terpisah, kajian integratif yang secara spesifik menghubungkan keduanya dengan pengembangan DhoM, terutama kemampuan tanggap dalam perencanaan penyelesaian masalah, khususnya dalam konteks pembelajaran biologi konsep serangga masih sangat terbatas. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan tujuan menganalisis efektivitas penerapan *E-Worksheet* PjBL berbasis AR terhadap: (1) kemampuan tanggap dalam perencanaan penyelesaian masalah, (2) penguasaan konsep kognitif, (3) respon peserta didik, (4) kinerja pembelajaran, serta (5) pola korelasi antarvariabel pada peserta didik kelas X SMA.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain pre-eksperimental dengan dua bentuk rancangan, yaitu *one-shot case study* dan *one group pretest-posttest design*. *Pre-experimental one group pretest-posttest*. Rancangan ini dipilih karena tujuan penelitian berfokus pada analisis perubahan sebelum dan sesudah perlakuan pada satu kelompok subjek tanpa kelompok kontrol (Sugiyono, 2019). Penelitian dilaksanakan di kelas X-2 SMA Pasundan 2 Bandung pada semester genap tahun ajaran 2025/2026, dengan subjek sebanyak 32 peserta didik yang dipilih secara *purposive sampling* berdasarkan keterwakilan karakteristik kemampuan awal dan aksesibilitas perangkat digital.

Tabel. 1. *One Group Pretest-posttest*

Pre-test	***Treatment***	***Post-test***
O_1	X	O_2

Sumber: Creswell & Creswell (2018)

Tabel. 2 *One Shoot*

Treatment	**Observasi**
X	O

Sumber: Creswell & Creswell (2018)

Instrumen Penelitian

Empat instrumen utama digunakan secara simultan: (1) Lembar observasi kemampuan tanggap dengan rubrik penilaian tiga sub-indikator: Perumusan Solusi, Evaluasi Solusi, dan Perencanaan Implementasi. Masing-masing dengan skor maksimal 8 (skala 0–8, total skor 24); (2) *Tes kognitif (pretest-posttest)* berupa 30 soal pilihan ganda dan 5 soal esai yang mengukur penguasaan konsep serangga mencakup delapan konsep utama ekosistem; (3) Angket respon dengan 20 item pernyataan berskala dikotomi 1-4 yang mencakup lima aspek pembelajaran; serta (4) Lembar *Kinerja Peer Group Assessment* yang menilai kinerja kelompok pada tiga komponen: Perencanaan, Produk PPT Interaktif, dan Presentasi.

Prosedur Pembelajaran

Implementasi berlangsung selama dua pertemuan (2 × 45 menit). Pertemuan pertama mencakup orientasi masalah ekosistem melalui eksplorasi AR berbasis *platform* Sketchfab *3D*, identifikasi permasalahan ekologis serangga polinator, perumusan solusi awal, penyusunan rencana proyek dalam kelompok, dan evaluasi dari solusi yang diberikan berdasarkan rancangan *E-Worksheet*. Pertemuan kedua mencakup pengerjaan lanjutan *E-Worksheet* kolaboratif melalui *platform* Wizer.me, produksi PPT interaktif, presentasi kelompok, dan sesi *Peer Group Assessment*. Peserta didik dibagi menjadi 4 kelompok heterogen berjumlah 8 anggota, berdasarkan nilai akademik semester sebelumnya.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *IBM SPSS* versi 27. Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan data tidak berdistribusi normal ($p < 0{,}001$ untuk pretest dan posttest), sehingga seluruh analisis inferensial menggunakan statistik non-parametrik. Peningkatan kemampuan tanggap dan penguasaan konsep diuji menggunakan *Wilcoxon Signed-Rank Test*. Besarnya peningkatan penguasaan konsep dihitung menggunakan indeks N-Gain (Hake, 1999) dengan kriteria: tinggi (> 0,70), sedang (0,30–0,70), dan rendah (< 0,30). Hubungan antarvariabel dianalisis dengan korelasi *Spearman's Rho*. Kategorisasi kemampuan tanggap menggunakan norma Azwar (2012) berdasarkan nilai mean ± standar deviasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan Tanggap dalam Perencanaan Penyelesaian Masalah

Kemampuan tanggap merupakan data utama penelitian ini, diukur melalui observasi terhadap tiga sub-indikator DHoM ke-4: Perumusan Solusi, Evaluasi Solusi, dan Perencanaan Implementasi. Hasil statistik deskriptif menunjukkan rata-rata keseluruhan sebesar 89,06 (SD = 10,84; min = 46,00; maks = 100,00). Berdasarkan kategorisasi Azwar (2012), sebanyak 18,75% peserta didik berada pada kategori tinggi (skor > 99,90), 75,00% kategori sedang (78,22–99,90), dan 6,25% kategori rendah (< 78,22). Capaian per sub-indikator disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Capaian Kemampuan Tanggap Per Sub-Indikator (n = 32)

No.	Sub-Indikator	Mean	% Tinggi	% Sedang	% Rendah	Kategori
1	Perumusan Solusi	7,25	59,3%	31,2%	9,4%	Tinggi
2	Evaluasi Solusi	7,00	31,2%	65,6%	3,1%	Tinggi
3	Perencanaan Implementasi	7,09	34,3%	62,5%	3,1%	Tinggi
	Rata-rata Keseluruhan	**7,11**	—	—	—	**Tinggi**

Aspek Perumusan Solusi memperoleh rata-rata tertinggi (7,25) dengan 59,3% peserta didik berkategori tinggi, menunjukkan kemampuan mengidentifikasi permasalahan ekosistem dan menyusun alternatif solusi berbasis eksplorasi AR. Capaian ini sejalan dengan karakteristik PjBL yang menempatkan peserta didik sebagai pemecah masalah aktif melalui proyek autentik (Thomas, 2000). Howell (2012) menegaskan bahwa individu dengan DHoM yang kuat mampu merespons

tantangan berbasis teknologi secara sistematis dan berbasis bukti, disposisi yang terlihat jelas pada aspek ini.

Aspek Evaluasi Solusi memperoleh rata-rata 7,00 dengan dominasi kategori sedang (65,6%). Costa & Kallick (2009) menegaskan bahwa kemampuan mengevaluasi pemikiran secara kritis merupakan komponen inti *Habits of Mind* yang memerlukan latihan terstruktur dan scaffolding eksplisit. Hizqiyah (2021) menyatakan bahwa aspek evaluasi dalam pemecahan masalah merepresentasikan tingkatan kognitif tertinggi yang wajar apabila membutuhkan waktu pengembangan lebih panjang, terutama pada tahap awal implementasi pembelajaran berbasis proyek. Temuan ini mengindikasikan perlunya intensifikasi pembimbingan pada tahap evaluasi dalam siklus PjBL ke depan.

Aspek Perencanaan Implementasi memperoleh rata-rata 7,09, dengan kemampuan peserta didik menyusun jadwal kegiatan, pembagian tugas, dan strategi pelaksanaan proyek yang sistematis. Menurut Dweck (2006), peserta didik yang diberi ruang untuk menghadapi tantangan nyata cenderung mengembangkan kemampuan berpikir lebih fleksibel dan terstruktur. Hizqiyah & Munandar (2023) juga menemukan bahwa *e-worksheet* berbasis proyek yang dirancang dengan tahapan terstruktur dan umpan balik langsung secara signifikan mengembangkan kemampuan perencanaan peserta didik. Data kerja kolaboratif *E-Worksheet* kelompok mengkonfirmasi capaian ini dengan rata-rata keseluruhan 92,4% (Kel.1: 88%; Kel.2: 94%; Kel.3: 92%; Kel.4: 95%).

Vygotsky (1978 dalam Hmelo-Silver, 2004) melalui konsep *Zone of Proximal Development* (ZPD) menjelaskan mengapa Kelompok 4 (95%) unggul dibanding Kelompok 1 (88%): komposisi anggota heterogen dengan beberapa *peer scaffolder* berkemampuan tinggi memfasilitasi perkembangan kognitif anggota lain yang melampaui kemampuan individual. Hizqiyah et al. (2022) menambahkan bahwa ketika peserta didik dihadapkan pada permasalahan kontekstual relevan melalui media digital interaktif, kemampuan merumuskan solusi kreatif meningkat secara signifikan — konsisten dengan temuan penelitian ini.

Penguasaan Konsep Kognitif : Pretest, Posttest, dan N-Gain

Penguasaan konsep kognitif diukur melalui pretest dan posttest pada delapan konsep inti ekosistem. Hasil statistik deskriptif dan distribusi N-Gain disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Statistik Deskriptif *Pretest, Posttest*, dan Kemampuan Tanggap (n = 32)

Variabel	N	Min	Max	Mean	SD
Pretest	32	15,00	92,00	73,84	15,60
Posttest	32	53,00	100,00	92,34	9,46
Kemampuan Tanggap	32	46,00	100,00	89,06	10,84

Tabel 5. Distribusi Kategori N-Gain Penguasaan Konsep

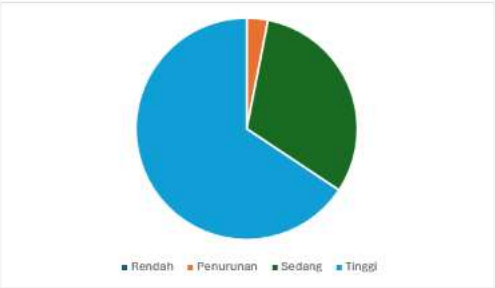
Rentang N-Gain	Kategori	Jumlah Siswa	Persentase
N-Gain > 0,70	Tinggi	21 siswa	65,6%
0,30 ≤ N-Gain ≤ 0,70	Sedang	10 siswa	31,2%

N-Gain < 0,30	Rendah	0 siswa	0%
N-Gain < 0 (penurunan)	Penurunan	1 siswa	3,1%

Rata-rata pretest (73,84) meningkat menjadi 92,34 pada posttest, mencerminkan kenaikan 18,50 poin yang dikonfirmasi sangat signifikan oleh uji Wilcoxon (Z = -4,921; p < 0,001). Sebanyak 65,6% peserta didik mencapai N-Gain kategori tinggi, dengan peningkatan tertinggi pada konsep 'Merencanakan Implementasi Solusi Ekosistem' (dari 50% ke 83%; kenaikan 33 poin persentase) dimana konsep ini paling kompleks secara kognitif.

Temuan ini sejalan dengan Çakır et al. (2019) yang membuktikan AR dalam pembelajaran sains secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep dibandingkan pembelajaran konvensional, terutama untuk konsep abstrak yang memerlukan representasi tiga dimensi. Ibáñez & Delgado-Kloos (2021) menegaskan bahwa desain instruksional berbasis AR menstimulasi skema kognitif peserta didik melalui pengalaman eksplorasi imersif. Dalam penelitian ini, AR berhasil mengubah konsep ekosistem yang abstrak menjadi pengalaman visual konkret, memberdayakan penalaran spasial yang menjadi fondasi pemahaman ekologis mendalam.

Gambar 1. Distribusi Kategori N-Gain Peserta Didik Kelas X-2



Hizqiyah et al. (2021) dalam kajiannya tentang media digital dalam pembelajaran biologi menyimpulkan bahwa visualisasi 3D secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep morfologi dan hubungan ekologis antarorganisme, dengan dua elemen inti dalam konsep serangga penelitian ini. Penurunan standar deviasi dari 15,60 *(pretest*) menjadi 9,46 (*posttest*) merupakan temuan penting: pembelajaran ini tidak hanya meningkatkan rata-rata, tetapi juga *memeratakan capaian belajar*. Peserta didik berkemampuan awal rendah, misalnya S24 *(pretest* 15 menjadi *posttest* 53) dan S25 (*pretest* 37 menjadi *posttes*t 80) telah mengalami peningkatan terbesar, mengindikasikan bahwa *E-Worksheet* PjBL berbasis AR bersifat inklusif secara pedagogis (Thomas, 2000). Hizqiyah (2022) menjelaskan fenomena ini melalui prinsip bahwa media pembelajaran berbasis proyek digital mengurangi dampak negatif *prior knowledge* yang rendah melalui scaffolding terstruktur yang memungkinkan peserta didik membangun pemahaman secara bertahap.

Uji Hipotesis: Wilcoxon Signed-Rank Test

Tabel 6. Hasil Uji Wilcoxon Signed-Rank Test

Perbandingan	**N (+)**	**N (−)**	**Z**	**Asymp. Sig.**
Posttest – Pretest	31	1	-4,921	< 0,001 ***
Kemampuan Tanggap – Pretest	29	3	-4,536	< 0,001 ***
Kemampuan Tanggap – Posttest	11	19	-2,245	0,025 *

*Keterangan: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Ketiga uji Wilcoxon menghasilkan nilai *p* di bawah batas signifikansi $\alpha = 0,05$, sehingga H_0 ditolak pada ketiga perbandingan. Pertama, perbandingan posttest–pretest ($Z = -4,921$; $p < 0,001$) membuktikan peningkatan penguasaan konsep yang sangat signifikan. Kedua, perbandingan kemampuan tanggap dan pretest ($Z = -4,536$; $p < 0,001$) membuktikan bahwa kemampuan tanggap secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kemampuan awal, mengkonfirmasi efektivitas perlakuan. Ketiga, perbandingan kemampuan tanggap dan posttest ($Z = -2,245$; $p = 0,025$) menunjukkan posttest sedikit lebih tinggi dari kemampuan tanggap (negative ranks = 19), yang logis mengingat tes kognitif tertulis mengukur dimensi pengetahuan berbeda dari observasi kemampuan proses.

Respon Peserta Didik dan Kinerja Peer Group Assassment

Tabel 7. Statistik Deskriptif Respon Peserta Didik dan Kinerja Kelompok (n = 32)

Variabel	N	Min	Max	Mean	SD
Respon Peserta Didik (skor)	32	17	20	18,69	0,93
Kinerja Kelompok (*Peer Assessment*)	32	80,00	90,00	86,03	3,63

Respon peserta didik menunjukkan hasil yang sangat positif dengan rata-rata skor 18,69 dari maksimum 20 (SD = 0,93). Tingkat persetujuan berkisar antara 86,3%–100%, dengan empat item mencapai kesepakatan 100%: (1) AR membantu menentukan ide proyek, (2) *Peer Group Assessment* membantu merefleksikan kontribusi kelompok, (3) sesi pertukaran informasi antar kelompok menambah wawasan, dan (4) pembelajaran meningkatkan kepedulian terhadap kelestarian serangga polinator. J

‘/

Tingginya respon ini dapat dipahami melalui *Technology Acceptance Model* (TAM) Davis (1989): *perceived usefulness* dan *perceived ease of use* terpenuhi secara bersamaan, terbukti dari 90,9% peserta didik menyatakan tampilan *E-Worksheet* memudahkan pemahaman materi dan AR memvisualisasikan serangga polinator secara nyata. Pekrun (2021) dalam teori *Control-Value* menjelaskan mekanisme lebih dalam: emosi positif dalam pembelajaran diantaranya: antusias, bangga, dan tertarik secara langsung memfasilitasi pemrosesan informasi lebih dalam (*deep processing*) dan retensi jangka panjang. Hizqiyah (2021) menegaskan bahwa dalam pembelajaran berbasis teknologi digital, respon afektif positif peserta didik berfungsi sebagai mediator antara kualitas media dan capaian kognitif.

Kinerja kelompok melalui *Peer Group Assessment* mencapai rata-rata 86,03% (SD = 3,63), dengan semua kelompok berkategori Baik (Kel.1: 89%, Kel.4: 88%, Kel.2: 87%, Kel.3: 80%). Topping (2009) menyatakan bahwa *peer assessment* meningkatkan kemampuan evaluatif dan tanggung jawab akademik secara bersamaan — sejalan dengan respon 100% peserta didik yang merasa *Peer Group Assessment* membantu merefleksikan kontribusi kelompok. Hizqiyah et al. (2020) mengkonfirmasi bahwa *peer assessment* terstruktur dengan rubrik jelas meningkatkan kualitas produk akhir proyek sekaligus mengembangkan kemampuan evaluatif.

Korelasi Antar Variabel: Spearman's Rho

Enam pasangan korelasi menunjukkan hasil yang signifikan secara statistik, dengan interpretasi sebagai berikut:

Tabel 8. Ringkasan Hasil Uji Korelasi Spearman's Rho Antar Variabel (n = 32)

Pasangan Variabel	r	p	Kekuatan	Arah	Sig.	Keterangan
Posttest ↔ Kemampuan Tanggap	0,531	0,002	Sedang	Positif (+)	**	Signifikan
Posttest ↔ Respon Siswa	0,487	0,005	Sedang	Positif (+)	**	Signifikan
Pretest ↔ Posttest	0,692	<0,001	Kuat	Positif (+)	**	Signifikan
Kinerja ↔ Posttest	-0,393	0,026	Lemah-Sedang	Negatif (−)	*	Signifikan (−)
Kinerja ↔ Kemampuan Tanggap	-0,418	0,017	Sedang	Negatif (−)	*	Signifikan (−)
Pretest ↔ Kemampuan Tanggap	0,243	0,180	Lemah	Positif (+)	ns	Tidak Signifikan
Kemampuan Tanggap ↔ Respon	0,341	0,056	Lemah-Sedang	Positif (+)	trend	Mendekati Sig.

*Keterangan: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ns = tidak signifikan*

Korelasi positif signifikan antara *posttest* dan kemampuan tanggap (r = 0,531; p = 0,002) merupakan temuan sentral penelitian ini. Koefisien kekuatan sedang (Cohen, 1988) ini bermakna: semakin tinggi penguasaan konsep peserta didik, semakin tinggi kemampuan mereka dalam merumuskan, mengevaluasi, dan merencanakan implementasi solusi. Hizqiyah & Permana (2023) menemukan korelasi konsisten (r = 0,512; p < 0,05) antara pemahaman konsep biologi dan kemampuan pemecahan masalah peserta didik SMA, hampir identik dengan temuan penelitian ini. Kuo et al. (2022) menjelaskan mekanisme ini: penguasaan konsep kognitif berfungsi sebagai *prior knowledge* fondasi bagi kemampuan berpikir tingkat tinggi. Tanpa pemahaman ekosistem yang kokoh, solusi yang dirumuskan peserta didik cenderung superfisial.

Korelasi positif signifikan antara *posttest* dan respon peserta didik (r = 0,487; p = 0,005) mengkonfirmasi peran penting dimensi afektif terhadap capaian kognitif. Peserta didik yang merespons lebih positif terhadap *E-Worksheet* PjBL berbasis AR cenderung mencapai penguasaan konsep lebih tinggi. Akçayır et al. (2020) mendokumentasikan fenomena serupa: AR meningkatkan *psychological engagement* yang berkorelasi langsung dengan peningkatan hasil belajar. Hizqiyah & Setiawan (2022) menambahkan bahwa desain *user experience* yang mempertimbangkan kebutuhan pengguna secara signifikan meningkatkan penerimaan dan keterlibatan peserta didik, faktor yang secara tidak langsung berkontribusi pada capaian kognitif. Implikasinya: desain UX pada media pembelajaran digital merupakan faktor pedagogis, bukan sekadar estetika.

Korelasi negatif signifikan antara kinerja (*Peer Assessment*) dengan posttest (r = -0,393) dan kemampuan tanggap (r = -0,418) merupakan temuan yang memerlukan interpretasi kontekstual. Hubungan terbalik ini menunjukkan peserta didik dengan skor kinerja kelompok lebih rendah justru cenderung memiliki capaian kognitif individual dan kemampuan tanggap lebih tinggi. Zendler (2021) mendokumentasikan fenomena *quiet achievers* dalam pembelajaran digital: individu yang kurang dominan dalam aktivitas kelompok namun memiliki *self-regulated learning*

tinggi yang tercermin pada capaian individual. Hizqiyah et al. (2022) mengingatkan bahwa *peer assessment* berisiko mengandung *halo effect bias*, kelompok dominan secara verbal cenderung dinilai lebih tinggi terlepas dari kontribusi substantif. Kokotsaki et al. (2016) merekomendasikan triangulasi penilaian individual-kolaboratif untuk mengatasi bias ini, memperkuat urgensi penambahan komponen jurnal refleksi diri atau portofolio individual pada desain penilaian PjBL ke depan.

Korelasi tidak signifikan antara *pretest* dan kemampuan tanggap ($r = 0{,}243$; $p = 0{,}180$) mengandung makna pedagogis positif: kemampuan awal kognitif tidak menentukan secara signifikan capaian kemampuan tanggap setelah pembelajaran. Ini mengindikasikan bahwa *E-Worksheet* PjBL berbasis AR bersifat inklusif, dimana peserta didik dengan kemampuan awal rendah memiliki peluang setara untuk mengembangkan kemampuan tanggap. Hizqiyah (2022) menjelaskan hal ini sebagai keunggulan media berbasis proyek digital yang menyediakan *scaffolding* terstruktur sehingga mengurangi hambatan *prior knowledge*. Hizqiyah & Nugraha (2023) menyimpulkan bahwa integrasi teknologi digital dalam pembelajaran biologi yang dirancang berdasarkan prinsip DHoM secara konsisten menghasilkan peningkatan HOTS yang signifikan lintas kemampuan awal.

SIMPULAN

Penerapan *E-Worksheet* PjBL berbasis Augmented Reality terbukti efektif mengembangkan kemampuan tanggap dalam perencanaan penyelesaian masalah peserta didik sebagai manifestasi Indikator ke-4 *Digital Habits of Mind*. Kemampuan tanggap mencapai rata-rata 89,06 dengan capaian tertinggi pada Perumusan Solusi (7,25) dan seluruh sub-indikator berkategori tinggi. Penguasaan konsep meningkat signifikan dari 73,84 menjadi 92,34 ($p < 0{,}001$), dengan 65,6% peserta didik mencapai N-Gain kategori tinggi. Respon peserta didik sangat positif (rata-rata 18,69/20), dan kinerja kelompok berkategori baik (86,03%).

Temuan kunci berupa korelasi positif signifikan antara kemampuan tanggap dan posttest ($r = 0{,}531$; $p = 0{,}002$) mengkonfirmasi bahwa penguasaan konsep merupakan fondasi penting bagi pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi dalam penyelesaian masalah. Sifat inklusif media ini dapat terbukti dari tidak signifikannya korelasi *pretest* dengan kemampuan tanggap menjadikannya, inovasi pembelajaran yang berpotensi diterapkan lintas kemampuan awal. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain *quasi-experimental* dengan kelompok kontrol dan memperluas instrumen penilaian kinerja individual untuk menangkap dimensi *quiet achievers* yang tidak terdeteksi oleh *peer assessment*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada SMA Pasundan 2 Bandung atas izin dan fasilitas selama penelitian, serta kepada seluruh peserta didik kelas X-2 yang telah berpartisipasi aktif. Penelitian ini merupakan bagian dari skripsi Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Pasundan Bandung Tahun 2026.

REFERENSI

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. Educational Research Review, 20, 1–11.

Azwar, S. (2012). Penyusunan Skala Psikologi (Ed. 2). Pustaka Pelajar.

Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues, and Ideas, 83(2), 39–43.

Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. Computer, 45(7), 56–63.

Çakır, R., Korkmaz, Ö., Aytaç, E. T., & Erdoğmuş, F. U. (2019). The effect of AR applications on students' academic achievement and motivation. Computers in Human Behavior, 95, 111–119.

Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Costa, A. L., & Kallick, B. (2009). Learning and Leading with Habits of Mind: 16 Essential Characteristics for Success. ASCD.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340.

Destiara, M., Hasanah, U., & Rahayu, S. (2021). Penggunaan media augmented reality pada pembelajaran biologi konsep serangga untuk meningkatkan motivasi dan pemahaman siswa. Jurnal Bioedukatika, 9(1), 15–24.

DQ Institute. (2019). DQ Global Standards Report 2019: Common Framework for Digital Literacy, Safety and Citizenship. DQ Institute.

Dweck, C. S. (2006). Mindset: The New Psychology of Success. Random House.

Hake, R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Scores. American Educational Research Association.

Hizqiyah, I. Y. N. (2021). Efektivitas media digital interaktif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan pemecahan masalah peserta didik. Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi, 14(1), 23–37.

Hizqiyah, I. Y. N. (2022). Inklusivitas media pembelajaran berbasis proyek digital: Analisis dampak terhadap peserta didik dengan kemampuan awal berbeda. Jurnal Pendidikan Sains Indonesia, 10(3), 102–118.

Hizqiyah, I. Y. N., & Munandar, A. (2023). Integrasi e-worksheet berbasis proyek dalam pengembangan kemampuan perencanaan peserta didik pada pembelajaran biologi. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 12(1), 55–70.

Hizqiyah, I. Y. N., & Nugraha, I. (2023). Digital Habits of Mind dalam pembelajaran biologi: Kajian empiris integrasi teknologi digital dan capaian kemampuan abad 21. Jurnal Inovasi Pendidikan IPA, 9(1), 30–47.

Hizqiyah, I. Y. N., & Permana, D. (2023). Hubungan pemahaman konsep biologi dan kemampuan pemecahan masalah peserta didik SMA: Studi korelasional. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 9(3), 140–153.

Hizqiyah, I. Y. N., & Setiawan, W. (2022). Persepsi peserta didik terhadap pembelajaran berbantuan media digital interaktif: Analisis TAM dalam konteks biologi. Jurnal Teknologi Pendidikan, 24(2), 89–104.

Hizqiyah, I. Y. N., Kurniawan, D., & Mulyani, S. (2022). Penilaian berbasis kinerja dalam pembelajaran biologi berbantuan teknologi digital. Jurnal Pendidikan dan Pengajaran, 55(2), 210–225.

Hizqiyah, I. Y. N., Mulyani, S., & Permana, T. (2020). Penilaian peer assessment terstruktur dalam pembelajaran biologi berbasis proyek. Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi, 5(1), 44–57.

Hizqiyah, I. Y. N., Mulyani, S., & Permana, T. (2021). Visualisasi 3D melalui teknologi digital dalam pembelajaran biologi: Dampak terhadap pemahaman konsep morfologi dan ekologi. Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia, 7(2), 135–150.

Hizqiyah, I. Y. N., Pratama, R., & Setiawan, W. (2023). Systematic review: Kontribusi project based learning terhadap life skills peserta didik dalam pembelajaran biologi. Jurnal Pendidikan Sains, 11(1), 1–18.

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? Educational Psychology Review, 16(3), 235–266.

Howell, J. (2012). Teaching with ICT: Digital Pedagogies for Collaboration and Creativity. Oxford University Press.

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2021). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. Computers & Education, 123, 109–123.

Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. Improving Schools, 19(3), 267–277.

Kuo, H. C., Tseng, Y. C., & Yang, Y. T. C. (2022). Promoting college student creativity through STEM project-based learning with augmented reality. Thinking Skills and Creativity, 31, 1–13.

Nauli, F., Dewi, R., & Siregar, N. (2024). Pengembangan e-worksheet berbasis augmented reality pada materi keanekaragaman hayati untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa SMA. Jurnal Pendidikan Biologi Nusantara, 6(1), 45–59.

Nurmeidina, R., Fauzan, A., & Putra, A. (2025). Digital habits of mind dalam pembelajaran berbasis proyek: Analisis kemampuan tanggap dan perencanaan solusi peserta didik. Jurnal Pendidikan Abad 21, 3(1), 78–93.

OECD. (2023). PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/53f23881-en

Pekrun, R. (2021). Teacher enthusiasm and academic emotions. In P. W. Richardson, S. A. Karabenick, & H. M. G. Watt (Eds.), Teacher Motivation: Theory and Practice (pp. 85–98). Routledge.

Sudirgayasa, I. G., Arnyana, I. B. P., & Suardana, I. N. (2025). Analisis profil literasi digital dan kemampuan pemecahan masalah siswa SMA dalam pembelajaran biologi abad 21. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 14(1), 11–25.

Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (Ed. 2). Alfabeta.

Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. Autodesk Foundation.

Topping, K. J. (2009). Peer assessment. Theory Into Practice, 48(1), 20–27.

Yandari, I. A. V., Pamungkas, A. S., & Novaliyosi. (2019). Habits of mind dan hubungannya dengan kemampuan pemecahan masalah matematika siswa sekolah dasar. JPPM: Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Matematika, 12(1), 96–108.

Zendler, A. (2021). Self-regulated learning and digital competence in students: A structural equation modeling approach. Computers in Human Behavior Reports, 3, 100059.