

Pengembangan dan Uji Efektivitas *E-Booklet* Berbasis *Augmented Reality* untuk Meningkatkan Pemahaman Biologi Siswa Teman Tuli Kelas VII SLB-B YPTB Malang

Ananda Wiratama

University of Brawijaya

anandawiratama7@student.ub.ac.id

Rezky Auliasarie

University of Brawijaya

rezkya@student.ub.ac.id

Fransiska Alisya Arbi

University of Brawijaya

fransiskaalisya@student.ub.ac.id

Abstract

The implementation of biology learning for deaf students often faces challenges due to the abstract nature of biological concepts and the limited availability of interactive learning media. This study aimed to develop and evaluate an Augmented Reality-based E-Booklet as a biology learning medium for seventh-grade deaf students at SLB-B YPTB Malang. The study employed a mixed-method approach consisting of a needs analysis through observation and teacher interviews, followed by a pre-experimental One Group Pretest–Posttest Design to assess learning effectiveness. The research sample consisted of five deaf students who participated in all stages of the study. Learning outcomes were analyzed using descriptive statistics, paired t-test, and N-Gain analysis. The results showed that the average pre-test score increased from 68.00 to 89.33. Normality and homogeneity tests confirmed that the data met the required assumptions, while the paired t-test revealed a significant difference between pre-test and post-test scores ($t = 4.3546$). Furthermore, the average N-Gain score was 0.654, indicating a moderate improvement. These findings demonstrate that the Augmented Reality-based E-Booklet effectively enhances students' understanding of biology concepts through visual, interactive, and contextual learning experiences. Therefore, the developed E-Booklet has the potential to serve as an inclusive and adaptive biology learning medium for deaf students.

Keywords: Augmented Reality, Biology Education, Deaf Students, Inclusive Learning, Learning Media

Abstract

Implementasi pembelajaran biologi bagi siswa tuli sering menghadapi tantangan akibat sifat konsep biologi yang abstrak serta keterbatasan ketersediaan media pembelajaran yang interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas *e-booklet* berbasis *Augmented Reality* sebagai media pembelajaran biologi bagi siswa tuli kelas VII di SLB-B YPTB Malang. Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed-method yang diawali dengan analisis kebutuhan melalui observasi dan wawancara dengan guru, kemudian dilanjutkan dengan desain pra-eksperimen One Group Pretest–Posttest Design untuk menguji efektivitas pembelajaran. Sampel penelitian terdiri atas lima siswa tuli yang mengikuti seluruh tahapan penelitian. Hasil belajar dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji paired t-test, dan analisis N-Gain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai pre-test meningkat dari 68,00 menjadi 89,33 pada post-test. Uji normalitas dan homogenitas menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi yang dipersyaratkan,

sedangkan uji paired t-test menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai pre-test dan post-test ($t = 4,3546$). Selain itu, rata-rata skor N-Gain sebesar 0,654 menunjukkan kategori peningkatan sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa *e-booklet* berbasis Augmented Reality efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep biologi melalui pengalaman belajar yang visual, interaktif, dan kontekstual. Oleh karena itu, *e-booklet* yang dikembangkan berpotensi menjadi media pembelajaran biologi yang inklusif dan adaptif bagi siswa tuli.

Kata Kunci: Augmented Reality, media pembelajaran, pembelajaran biologi, pendidikan inklusif, siswa tuli.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mengubah cara manusia memperoleh, mengolah, dan memahami informasi secara fundamental, termasuk dalam sistem pendidikan abad ke-21 yang kini dituntut lebih interaktif dan adaptif. Transformasi tersebut sejalan dengan prinsip pendidikan inklusif di mana menempatkan peserta didik berkebutuhan khusus sebagai individu yang berhak memperoleh layanan pendidikan secara setara dan tanpa diskriminasi. Dalam Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 4 Ayat 1 disebutkan bahwa pendidikan harus diselenggarakan secara demokratis, berkeadilan, dan tidak diskriminatif dengan menjunjung tinggi hak asasi manusia serta kemajemukan bangsa.

Namun, implementasi pembelajaran berbasis teknologi di Indonesia masih belum sepenuhnya mampu mengakomodasi kebutuhan belajar siswa teman Tuli yang sangat bergantung pada pengalaman visual dalam memahami informasi dan konsep pembelajaran (Juniartha, 2024). Kondisi tersebut diperparah oleh rendahnya keterjangkauan akses pendidikan khusus bagi kelompok marginal ini. Data Pusdatin Kemendikbud Ristek (2022) mencatat hanya ada 27.983 siswa teman Tuli yang terdaftar di SLB seluruh Indonesia, sebuah angka yang sangat timpang jika dibandingkan dengan estimasi populasi nasional teman Tuli yang mencapai belasan juta jiwa.

Secara global, ketimpangan ini sejalan dengan rilis World Federation of the Deaf pada tahun 2022 di mana mengungkapkan bahwa hanya 2% teman Tuli di dunia yang dapat mengakses pendidikan berbasis bahasa isyarat dan diperkirakan hanya 20% teman Tuli di negara berkembang yang memperoleh akses pendidikan formal. Realitas ini menunjukkan masih besarnya kesenjangan dan diskriminasi dalam pemenuhan hak pendidikan bagi siswa teman Tuli di Indonesia. Di sisi lain, pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) menuntut kemampuan observasi, visualisasi, dan pemahaman konseptual yang tinggi terhadap berbagai fenomena ilmiah (Ristiani et al., 2025). Situasi tersebut mengindikasikan bahwa optimalisasi pembelajaran IPA bagi siswa teman Tuli memerlukan media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan visualisasi konkret, interaktivitas, dan pengalaman belajar yang lebih imersif.

Karakteristik belajar siswa teman Tuli yang dominan mengandalkan pemrosesan visual menuntut pendekatan pembelajaran yang mampu menghadirkan representasi konsep secara lebih konkret, dinamis, dan mudah dipahami. Urgensi ini diperkuat oleh data Purnamasari et al. (2020) yang mencatat tingkat kesulitan pemahaman konsep abstrak biologi mencapai 68,5% akibat keterbatasan media visual yang konkret. Berdasarkan hasil observasi awal di SLB-B YPTB Malang, pembelajaran IPA masih didominasi penggunaan buku ajar, ilustrasi dua dimensi, dan metode ceramah yang cenderung pasif sehingga proses visualisasi konsep biologis belum optimal bagi siswa teman Tuli. Di sisi lain, Andini et al. (2024) membuktikan bahwa penggunaan media visual digital interaktif berbasis bahasa isyarat secara langsung mampu meningkatkan pemahaman konsep sains siswa teman Tuli hingga 40% dibandingkan metode konvensional. Temuan tersebut memperlihatkan adanya kebutuhan terhadap pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi visual-interaktif yang mampu meningkatkan keterlibatan belajar sekaligus mempermudah proses visualisasi konsep biologis bagi siswa teman Tuli.

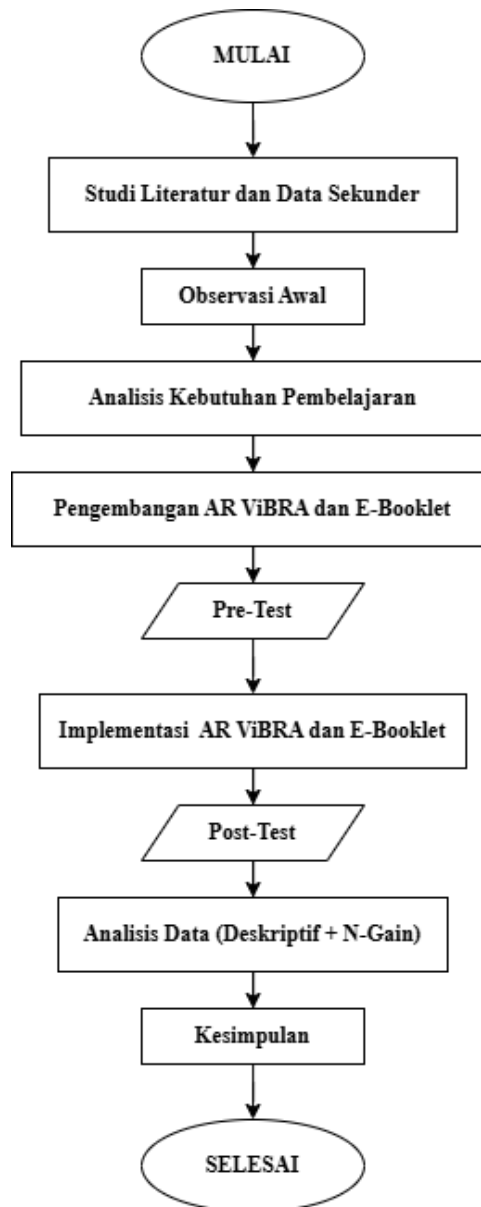
Dalam beberapa tahun terakhir, *Augmented Reality* (AR) semakin banyak digunakan dalam pembelajaran karena terbukti efektif meningkatkan hasil belajar. Meta-analisis Howard & Davis (2023) menunjukkan bahwa penggunaan AR dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran sekitar 60% dibanding metode konvensional sehingga AR dinilai mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna. Di sisi lain, Rosidin et al. (2024) menyatakan bahwa teknologi *Augmented Reality* (AR) dapat mengintegrasikan objek virtual ke dalam lingkungan nyata sehingga menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif, menarik, dan mendukung pemahaman konsep secara lebih efektif dibandingkan media konvensional. Hal ini turut diperkuat oleh Purnama et al. (2025) yang mengemukakan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran sains dan biologi mampu meningkatkan motivasi belajar, kemampuan berpikir, serta pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep abstrak. Meskipun demikian, analisis literatur global terhadap ratusan riset AR mendapati bahwa 86% pemanfaatan teknologi ini masih mendominasi populasi peserta didik reguler (Mystakidis et al., 2022). Keterbatasan distribusi ini menyebabkan pengembangan AR belum dirancang secara spesifik untuk mengakomodasi karakteristik belajar siswa teman Tuli yang dominan mengandalkan visual learning. Selain itu, media pembelajaran yang dikembangkan juga umumnya belum menyesuaikan kebutuhan pembelajaran IPA pada jenjang SLB, khususnya pada materi biologi yang membutuhkan visualisasi proses dan objek secara dinamis. Dengan demikian, efektivitas teknologi pembelajaran tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan fitur yang digunakan, tetapi juga oleh sejauh mana media tersebut mampu menjawab kebutuhan belajar peserta didik secara kontekstual dan inklusif.

Menjawab kebutuhan tersebut, diperlukan inovasi media pembelajaran biologi yang mengintegrasikan teknologi visual interaktif dengan karakteristik belajar siswa tuli. Salah satu teknologi yang dinilai potensial adalah *Augmented Reality* (AR) karena mampu menghadirkan visualisasi objek biologis secara imersif. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan E-Booklet berbasis *Augmented Reality* sebagai media pembelajaran biologi interaktif bagi siswa tuli kelas VII SLB-B YPTB Malang. Media ini dirancang dengan visualisasi objek tiga dimensi dan pengalaman belajar berbasis visual untuk membantu pemahaman materi biologi, seperti klasifikasi makhluk hidup, daur hidup hewan, perkembangbiakan, pertumbuhan manusia, dan pubertas secara lebih konkret dan kontekstual. Pengembangan *e-booklet* berbasis *Augmented Reality* diharapkan dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran, mempermudah visualisasi konsep-konsep biologi, serta mendukung terwujudnya pembelajaran biologi yang lebih inklusif, adaptif, dan bermakna bagi siswa tuli.

METODE

Penelitian lapangan dilaksanakan di SLB-B YPTB Malang yang berlokasi di Jl. Brigiend Slamet Riadi No. 126, Oro-Oro Dowo, Kecamatan Klojen, Kota Malang, Jawa Timur pada tanggal 5 s.d. 26 Mei 2026 dengan 4 kali pertemuan. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada kesesuaian karakteristik siswa teman Tuli dengan sasaran pengembangan media pembelajaran *e-booklet* berbasis *Augmented Reality* serta hasil observasi awal di mana menunjukkan perlunya media pembelajaran biologi yang lebih visual dan interaktif. Sumber data dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui hasil observasi, *pre-test*, *post-test*, dan wawancara pra-penelitian dengan guru IPA kelas VII SLB-B YPTB Malang. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari literatur ilmiah, kesepakatan belajar IPA kelas VII, jurnal penelitian, serta dokumen pendukung yang berkaitan dengan pembelajaran biologi, pendidikan inklusif, dan teknologi *Augmented Reality* (AR). Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa SLB-B YPTB Malang yang berjumlah 79 siswa.

Sampel penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* karena adanya tujuan tertentu (Creswell, 2014), yaitu siswa kelas VII yang berjumlah 7 orang di mana dipilih karena siswa teman Tuli pada jenjang ini sedang memasuki fase transisi menuju pembelajaran sains yang lebih kompleks sehingga memerlukan media pembelajaran yang interaktif. Namun, selama pelaksanaan penelitian hanya 5 siswa yang dapat mengikuti seluruh rangkaian kegiatan penelitian karena keterbatasan akses perangkat pendukung. Oleh karena itu, sampel penelitian terdiri atas 5 siswa kelas VII SLB-B YPTB Malang yang mengikuti *pre-test*, implementasi media, dan *post-test* secara lengkap. Adapun diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada bagan berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *sequential exploratory*, yaitu penelitian diawali dengan pendekatan kualitatif kemudian dilanjutkan dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan pada tahap analisis kebutuhan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan guru IPA SLB-B YPTB Malang untuk mengidentifikasi karakteristik pembelajaran, hambatan yang dihadapi siswa teman Tuli, serta kebutuhan terhadap media pembelajaran biologi. Hasil analisis kebutuhan tersebut menjadi dasar dalam pengembangan media pembelajaran *e-booklet* berbasis *Augmented Reality*. Selanjutnya, pendekatan kuantitatif digunakan pada tahap implementasi media untuk menguji efektivitas *e-booklet* berbasis *Augmented Reality* dan mengetahui peningkatan pemahaman siswa melalui metode *pre-experimental* dengan

desain *One Group Pretest-Posttest* untuk mengukur variabel terikat sebelum diberikan perlakuan (*pre-test*), menerapkan perlakuan (*treatment*), dan mengukurnya kembali setelah perlakuan (*post-test*) (Sugiyono, 2011). Selain itu, evaluasi media dilakukan melalui pengumpulan respons pengguna terhadap aspek kemudahan penggunaan, daya tarik, dan kebermanfaatan media pembelajaran.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini terdiri atas data hasil observasi, *pre-test*, *post-test*, dan respons pengguna terhadap media pembelajaran *e-booklet* berbasis *Augmented Reality*. Data hasil observasi dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran biologi bagi siswa teman Tuli di SLB-B YPTB Malang. Selanjutnya, data *pre-test* dan *post-test* diolah menggunakan statistik deskriptif yang meliputi nilai rata-rata (*mean*), median, jangkauan, deviasi, minimum, maksimum, persentase, dan peningkatan skor hasil belajar siswa teman Tuli. Untuk mengetahui efektivitas media pembelajaran *e-booklet* berbasis *Augmented Reality*, dilakukan analisis N-Gain guna mengukur tingkat peningkatan pemahaman siswa setelah menggunakan media pembelajaran yang dikembangkan. Selain itu, respons pengguna terhadap media dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi aspek kemudahan penggunaan, daya tarik, dan kebermanfaatan media dalam mendukung proses pembelajaran biologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu tiga minggu, tepatnya sejak tanggal 4 s.d 26 Mei 2026 setiap hari Selasa. Untuk mengukur perkembangan subjek penelitian, pengambilan sampel dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test* dengan memanfaatkan media Google Form. Seluruh rangkaian pengujian dan pengisian angket ini diselesaikan secara mandiri oleh partisipan penelitian yang terdiri dari 5 siswa teman Tuli kelas VII di SLB-B YPTB Malang.

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru mata pelajaran IPA di SLB-B YPTB Malang, diketahui bahwa siswa teman Tuli menunjukkan antusiasme yang tinggi terhadap penggunaan media visual dalam pembelajaran. Namun, pemahaman siswa terhadap materi masih bervariasi karena kemampuan menangkap informasi setiap siswa berbeda. Media yang selama ini digunakan, seperti video pembelajaran, cenderung bersifat satu arah sehingga belum sepenuhnya mampu mengakomodasi kebutuhan belajar individual dan meningkatkan pemahaman konsep secara optimal.

Berdasarkan data hasil *pre-test* dan *post-test* menunjukkan bahwa setiap siswa setelah diberi perlakuan, nilai pemahaman siswa Tuli SLB-B YPTB Malang meningkat. Pada awalnya, nilai rata-rata *pre-test* adalah 68,00, setelah diberi perlakuan mengalami peningkatan nilai rata-rata *post-test* menjadi 89,33. Kemudian signifikansi nilai *pre-test* dan *post-test* pada kelas eksperimen ditentukan

melalui uji normalitas, uji perbedaan rata-rata, uji N-Gain, serta uji homogenitas sebagai perbandingan. Adapun Tabel 1 berikut merangkum hasil perhitungan data tersebut:

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Nilai *Pre-test* dan *Post-test*

Nilai	Mean	Uji normalitas (Shapiro-Wilk)	Uji homogenitas (F- Test)	Uji beda rata-rata (uji-t)
<i>Pre-test</i>	68,00	0,2877	1,7778	4,3546
<i>Post-test</i>	89,33	0,2514		

Berdasarkan data pada Tabel 1, uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk menghasilkan nilai signifikansi untuk *pre-test* sebesar 0,2877 dan untuk *post-test* sebesar 0,2514. Kedua nilai tersebut lebih besar dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ sehingga H_0 diterima dan data dinyatakan berdistribusi normal. Selanjutnya, uji homogenitas varians dengan F-Test memperoleh nilai sebesar 1,7778. Nilai ini juga lebih besar dari $\alpha = 0,05$ sehingga H_0 diterima dan data dinyatakan memiliki varians yang sama. Kemudian, uji beda rata-rata menggunakan uji-t menghasilkan nilai t-hitung sebesar 4,3546. Apabila dibandingkan dengan nilai t-tabel pada $\alpha = 0,05$ dengan derajat kebebasan yang sesuai, nilai t-hitung tersebut lebih besar daripada t-tabel sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan demikian, kesimpulannya adalah terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai *pre-test* dan *post-test* yang berarti bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan hasil belajar siswa Tuli di SLB-B YPTB Malang.

Selanjutnya, untuk mengetahui perbedaan tingkat pemahaman konsep antara siswa sebelum diberi perlakuan dan setelah diberi perlakuan diukur dengan N-Gain. Adapun Tabel di bawah ini menunjukkan hasil analisis data tersebut:

Tabel 2. Nilai N-Gain Nilai *Pre-test* dan Nilai *Post-test*

Nilai	Nilai tertinggi	Nilai terendah	Mean
<i>Pre-test</i>	86,67	53,33	68,00
<i>Post-test</i>	100,00	80,00	89,33
<i>N-Gain</i>	1,000	0,400	0,654

Tabel 3. Kategori Perolehan Nilai Skor N-Gain

Rentang N-Gain	Kategori
$N-Gain \geq 0,70$	Tinggi
$0,30 \leq N-Gain < 0,70$	Sedang
$N-Gain < 0,30$	Rendah

Berdasarkan Tabel 2 dan 3, nilai rata-rata *pre-test* siswa sebesar 68,00 dengan nilai tertinggi 86,67 dan terendah 53,33. Setelah diberikan perlakuan, nilai rata-rata *post-test* meningkat menjadi

89,33 dengan nilai terendah naik menjadi 80,00 dan nilai tertinggi mencapai 100,00. Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata skor N-Gain kelompok sebesar 0,654 dengan nilai tertinggi individu 1,000 dan terendah 0,400. Rata-rata N-Gain sebesar 0,654 ini termasuk dalam kategori sedang karena berada pada rentang $0,30 \leq \text{N-Gain} < 0,70$. Dengan demikian, perlakuan pembelajaran yang diterapkan di kelas eksperimen terbukti efektif dan memberikan dampak positif terhadap peningkatan hasil belajar siswa teman Tuli.

Kerangka teoretis yang mendasari efektivitas pendekatan ini merujuk pada teori dual coding (Paivio, 1971) yang menyatakan bahwa pemrosesan verbal dan visual secara bersamaan menghasilkan retensi dan pemahaman yang lebih kuat dibandingkan saluran tunggal. Bagi siswa teman Tuli yang tidak dapat mengakses saluran auditif, optimalisasi saluran visual menjadi salah satu strategi kognitif yang optimal sehingga kedalaman stimulasi visual yang diberikan berkorelasi langsung dengan kualitas pemahaman konseptual yang terbentuk. AR memenuhi tuntutan ini secara struktural karena memungkinkan siswa mengamati objek biologis yang pada metode konvensional hanya dapat direpresentasikan melalui ilustrasi dua dimensi yang statis (Resti et al., 2024). Efektivitas AR dalam konteks ini sejalan pula dengan temuan meta-analisis Howard & Davis (2023) yang mencatat peningkatan efektivitas pembelajaran rata-rata sebesar 60% ketika AR diimplementasikan dibandingkan metode konvensional. Purnama & Nurhania (2025) juga mengonfirmasi AR meningkatkan motivasi dan pemahaman konsep abstrak dalam biologi sehingga relevan untuk materi yang kompleks dan dinamis.

Aspek yang membedakan desain implementasi penelitian ini dari penelitian AR terdahulu terletak pada penyertaan *e-booklet* interaktif sebagai media antarmuka sebelum siswa mengakses konten AR melalui pemindaian kode QR. Alih-alih menyajikan kode QR secara langsung tanpa konteks, *e-booklet* berfungsi sebagai jembatan kognitif yang mempersiapkan siswa secara konseptual sebelum mereka memasuki pengalaman imersif. Struktur ini sejalan dengan prinsip scaffolding dalam teori konstruktivisme Vygotsky (1978) di mana pemahaman baru dibangun lebih efektif ketika tersedia struktur penopang yang mengantarkan peserta didik dari zona perkembangan aktual menuju zona perkembangan proksimal. Bagi siswa Tuli, *e-booklet* visual berperan sebagai panduan navigasi media dan pra-paparan konten yang mengaktifkan skema kognitif sebelum interaksi AR sehingga sesi AR dapat difokuskan pada eksplorasi dan pendalaman konsep, bukan hanya orientasi teknis.

Kebermaknaan peningkatan pemahaman tersebut dikuatkan oleh hasil analisis N-Gain yang menghasilkan skor rata-rata kelompok sebesar 0,654 di mana berada dalam kategori sedang berdasarkan kriteria Hake (1999). Nilai ini mencerminkan bahwa *e-booklet* berbasis *Augmented Reality*

secara konsisten mengangkat pemahaman seluruh anggota kelompok, sebagaimana ditunjukkan oleh kenaikan nilai terendah dari 53,33 menjadi 80,00 di mana merupakan sebuah lompatan yang mengindikasikan bahwa siswa dengan pemahaman awal paling rendah pun memperoleh manfaat substansial dari intervensi ini. Individu dengan N-Gain tertinggi mencapai skor 1,000 yang berarti peningkatan sempurna dari kondisi awal, sementara tidak ada siswa yang jatuh ke kategori N-Gain rendah. Peningkatan yang merata menunjukkan *e-booklet* berbasis *Augmented Reality* terbukti adaptif terhadap variasi kemampuan awal siswa, sebagaimana diakui guru IPA SLB-B YPTB Malang bahwa perbedaan kemampuan antarsiswa menjadi hambatan utama pembelajaran konvensional. Kategori sedang pada N-Gain, meskipun belum mencapai kategori tinggi ($\geq 0,70$), dapat dipahami dalam konteks keterbatasan durasi intervensi yang hanya berlangsung dalam empat kali pertemuan selama empat minggu. Matos et al. (2025) menegaskan bahwa efektivitas AR sebagai media pembelajaran di era digital dipengaruhi secara signifikan oleh intensitas dan durasi paparan sehingga intervensi yang lebih panjang berpotensi mendorong perolehan N-Gain ke kategori tinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat bahwa integrasi teknologi *Augmented Reality* (AR) dengan desain pembelajaran yang berorientasi pada kebutuhan visual siswa teman Tuli merupakan pendekatan yang efektif dalam mendukung pemahaman konsep biologi. Melalui sinergi antara *e-booklet* sebagai media pendukung dan konten *Augmented Reality* sebagai sarana visualisasi interaktif, peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih kontekstual, bermakna, dan sesuai dengan karakteristik modalitas belajar visual yang mereka miliki. Di sisi lain, temuan ini menjadi bukti empiris bahwa efektivitas teknologi pembelajaran tidak semata ditentukan oleh kecanggihan fitur teknologi itu sendiri, melainkan oleh sejauh mana teknologi tersebut dirancang secara kontekstual untuk mengakomodasi karakteristik kognitif dan kebutuhan belajar spesifik penggunaannya, sebagaimana yang ditekankan oleh Mystakidis et al. (2022) dalam tinjauan sistematisnya terhadap aplikasi AR dalam pendidikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan ViBRA (Virtual Biology Augmented Reality) sebagai media pembelajaran biologi interaktif bagi siswa teman Tuli kelas VII SLB-B YPTB Malang. Efektivitas tersebut ditunjukkan oleh peningkatan nilai rata-rata hasil belajar dari 68,00 pada pre-test menjadi 89,33 pada post-test, dengan skor N-Gain rata-rata kelompok sebesar 0,654 yang berada pada kategori sedang, serta nilai uji-t sebesar 4,3546 yang mengonfirmasi perbedaan signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah perlakuan. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi teknologi Augmented Reality (AR) dengan *e-booklet* berbasis visual-inklusif dapat mendukung kebutuhan belajar siswa teman Tuli melalui penyajian materi yang lebih konkret,

interaktif, dan mudah dipahami. Oleh karena itu, ViBRA berpotensi menjadi alternatif media pembelajaran biologi yang efektif dalam mendukung pembelajaran sains yang lebih inklusif dan adaptif bagi siswa teman Tuli.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, D., Harahap, H.S., & Machrizal, R. (2024). Powering Up Learning: How Interactive PowerPoint Transforms Student Engagement and Outcomes in Biology. *Utamax: Journal of Ultimate Research and Trends in Education*, 6(1), 23-32.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Global Partnership for Education. (2023). *Envisioning a future where all children can access learning through sign language*. Global Partnership for Education Blog. <https://www.globalpartnership.org/blog/envisioning-future-where-all-children-can-access-learning-through-sign-language>
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. American Educational Research Association
- Howard, M. C., & Davis, M. M. (2023). A meta-analysis of augmented reality programs for education and training. *Virtual Reality*, 27, 4015–4039. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00844-6>
- Juniartha, F. S. P. (2024). *Perancangan Flashcard Teman Dengar Tentang Komunikasi dengan Teman Tuli Tingkat Sekolah Dasar* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta). <http://repository.mercubuana.ac.id/id/eprint/91351>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Statistik sekolah luar biasa (SLB) tahun 2022/2023*. Sekretariat Jenderal, Paudnasmen Kemendikbudristek. <https://data.kemendikdasmen.go.id/publikasi/p/pauidnasmen-buku-statistik/statistik-sekolah-luar-biasa-slb-tahun-2022-2023>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2020). *Rencana strategis Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan tahun 2020-2024*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. https://repositori.kemdikbud.go.id/22120/1/isi_3E73984D-07CD-40C7-9E81-3809CBC4081F_.pdf
- KMMB Consulting. (2023). *KMMB Consulting dukung inklusi sosial lewat CSR: Laporan inklusi sosial & prevalensi disabilitas rungu*. KMMB News. <https://kmmmb.co.id/news/csr/kmmmb-consulting-dukung-inklusi-sosial-lewat-csr/>

- Matos, G. A., Fitriyani, H., Fatin, N. F., & Umayyah, S. (2025). Strategi Pemanfaatan *Augmented Reality* Sebagai Media Pembelajaran Di Era Digital. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 11(02), 112-122. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i02.5971>
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2022). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1883–1927. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Purnama, U., & Nurhania, N. (2025). Analisis Sistematis terhadap Efektivitas Penggunaan *Augmented Reality* (AR) dalam Pembelajaran Fisika: Studi Literatur. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(3), 1300-1306. <https://doi.org/10.37630/jpm.v15i3.3394>
- Purnamasari, I., Dianti, N., & Rohman, A. (2020). Analisis kesulitan belajar siswa pada materi biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(2), 45-52. <https://journal2.um.ac.id/index.php/jpb/article/view/12450>
- Resti, N., Ridwan, R., Palupy, R. T., & Riandi, R. (2024). Inovasi media pembelajaran menggunakan ar (*augmented reality*) pada materi sistem pencernaan. *Biodik*, 10 (2), 238–248. <https://doi.org/10.22437/biodik.v10i2.34022>
- Ristiani, R., Ali, A., & Apriyanto, A. (2025). *Konsep Dasar Pembelajaran IPA*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rosidin, R., Aina, M., Ahmad, A., Saifullah, S., Putranto, A., & Rahardian, R. L. (2024). Peran teknologi *augmented reality* (AR) dalam pembelajaran interaktif di perguruan tinggi. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(4), 13734–13741. <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp/article/view/34988>
- Sugiyono, S. (2011). *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Method)*. Bandung: Alfabeta.
- Vygotsky, Lev (1978). *Mind in Society*. London: Harvard University Press.
- World Federation of the Deaf. (2022). *Human rights of the deaf and global access to sign language*. WFD Our Work Portal. <https://wfdeaf.org/our-work/human-rights-of-the-deaf/>
- Yin, K., Zhou, Y., Zheng, X., & Zhang, M. (2024). Sign Language Translation with LLMs via Sign-to-Text Multi-Task Learning. *Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 9401–9412. <https://aclanthology.org/2024.emnlp-main.801/>