



**PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF FISIKA BERBASIS
ANDROID UNTUK MENINGKATKAN LITERASI DIGITAL DAN PEMAHAMAN
KONSEP SISWA**

Asimi Rafsan Jalil*, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Pujianto, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: asimirafsan.2020@student.uny.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menghasilkan media pembelajaran fisika interaktif berbasis Android yang layak digunakan; (2) mengetahui peningkatan literasi digital dan pemahaman konsep peserta didik setelah menggunakan media tersebut. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (Research and Development) yang mengacu pada model 4D, meliputi tahap *define* (pendefinisian), *design* (perancangan), *develop* (pengembangan), dan *disseminate* (penyebaran). Teknik analisis data meliputi Standar Baku Ideal (SBI), analisis *Rasch*, *N-Gain*, uji *Kolmogorov-Smirnov*, uji *Levene*, *Independent Sample t-Test*, MANOVA, dan *effect size*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) media pembelajaran yang dikembangkan memperoleh kategori sangat layak berdasarkan penilaian validator ahli dan praktisi pada aspek materi, tampilan, kemudahan akses, dan bahasa; (2) penggunaan media pembelajaran mampu meningkatkan literasi digital dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,57 dengan kategori sedang dan pemahaman konsep dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,26 dengan kategori rendah. Hasil *Independent Sample t-Test* dan MANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol ($\text{Sig.} < 0,05$). Berdasarkan hasil tersebut, media pembelajaran fisika interaktif berbasis Android dinyatakan layak dan efektif untuk meningkatkan literasi digital dan pemahaman konsep peserta didik.

Kata Kunci: *Android, Literasi Digital, Media Pembelajaran Interaktif, Pemahaman Konsep, Perubahan Iklim*

Abstarct. This research aimed to: (1) develop an Android-based interactive physics learning media that is feasible for classroom use; and (2) investigate the improvement of students' digital literacy and conceptual understanding after using the developed media. This study employed a Research and Development (R&D) approach based on the 4D model, which consists of the *define*, *design*, *develop*, and *disseminate* stages. The data were analyzed using the Ideal Standard Deviation (ISD), *Rasch* analysis, *N-Gain*, the *Kolmogorov-Smirnov* test, *Levene's* test, the *Independent Samples t-test*, MANOVA, and *effect size*. The results showed that: (1) the developed learning media was categorized as highly feasible based on evaluations by expert and practitioner validators in terms of content, interface design, accessibility, and language; and (2) the use of the learning media improved students' digital literacy, with an *N-Gain* score of 0.57 (moderate category), and conceptual understanding, with an *N-Gain* score of 0.26 (low category). Furthermore, the results of the *Independent Samples t-test* and MANOVA indicated a significant difference between the experimental and control groups ($p < 0.05$). Based on these findings, the Android-based interactive physics learning media is

considered both feasible and effective for improving students' digital literacy and conceptual understanding.

Keywords: *Android, Climate Change, Conceptual Understanding, Digital Literacy, Interactive Learning Media.*

PENDAHULUAN

Pendidikan berperan strategis dalam membentuk individu yang tidak hanya menguasai pengetahuan, tetapi juga keterampilan dan sikap untuk berpartisipasi aktif dalam kehidupan bermasyarakat sebagaimana diamanatkan Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional. Tuntutan tersebut menuntut dunia pendidikan untuk terus bertransformasi mengikuti perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, termasuk dalam pembelajaran fisika yang menuntut kemampuan bernalar serta menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena nyata (Kahar et al., 2025).

Hasil observasi awal di MAN 3 Sleman Yogyakarta menunjukkan bahwa pembelajaran fisika masih didominasi oleh metode ceramah dengan buku paket sebagai sumber belajar utama, sementara pemanfaatan media pembelajaran interaktif masih sangat terbatas. Kondisi ini membuat peserta didik cenderung pasif dan kesulitan memvisualisasikan konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak, sebab banyak konsep fisika tidak dapat diamati secara langsung dan memerlukan representasi visual maupun simulasi agar dapat dipahami secara utuh (Alhusni et al., 2025; Nyirahabimana et al., 2024). Guru pun masih mengalami kendala dalam mengoperasikan media pembelajaran yang lebih inovatif akibat keterbatasan kompetensi dan sarana pendukung (Prinanda, 2025).

Di sisi lain, hampir seluruh peserta didik telah memiliki dan membawa smartphone berbasis Android ke sekolah, sejalan dengan data Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (2024) yang mencatat tingkat penetrasi internet pada pelajar dan mahasiswa telah mencapai 95,92%. Sayangnya, pemanfaatan perangkat tersebut selama ini lebih banyak diarahkan untuk hiburan daripada kegiatan belajar, padahal perangkat mobile berpotensi menyajikan materi fisika secara interaktif, fleksibel, dan mudah diakses (Siswanto et al., 2025). Kesenjangan pemanfaatan ini erat kaitannya dengan literasi digital, yaitu kemampuan menemukan, memahami, mengevaluasi, menggunakan, dan menciptakan informasi secara kritis dan bertanggung jawab melalui media digital (UNESCO, 2023). Indeks Literasi Digital Nasional yang dirilis Kementerian Komunikasi dan Digital (2024) baru mencapai skor 3,54 dari skala 5, yang menunjukkan bahwa kompetensi tersebut di kalangan pelajar Indonesia masih berada pada kategori sedang dan belum ideal.

Permasalahan lain yang tidak kalah penting adalah pemahaman konsep peserta didik. Fisika menuntut kemampuan memahami, menjelaskan, dan menerapkan konsep ilmiah untuk menjelaskan fenomena alam secara bermakna, bukan sekadar menghafal rumus (Docktor & Mestre, 2014). Rendahnya pemahaman konsep dan tingginya miskonsepsi masih menjadi persoalan utama pembelajaran fisika di jenjang menengah, terutama pada materi yang bersifat abstrak (Maharani & Diyana, 2025). Materi perubahan iklim merupakan salah satu contohnya, karena memuat konsep abstrak dan proses yang tidak dapat diamati secara langsung, seperti interaksi radiasi matahari, gas rumah kaca, dan keseimbangan energi di atmosfer (De Paula, Pedroso, & Grein, 2024), sehingga peserta didik sering kesulitan membangun pemahaman konseptual yang utuh dan memerlukan media yang mampu memvisualisasikan proses tersebut secara lebih konkret (Rodhiyah & Suharno, 2025).

Pada mata pelajaran Fisika, peserta didik tidak hanya dituntut menguasai konsep-konsep ilmiah, tetapi juga mampu memanfaatkan teknologi untuk memperoleh, mengolah, mengevaluasi, dan mengomunikasikan informasi secara bertanggung jawab. Oleh karena itu, pengembangan literasi digital dan pemahaman konsep perlu dilakukan secara terpadu melalui pemanfaatan media pembelajaran yang inovatif sehingga proses pembelajaran menjadi lebih

aktif, kontekstual, dan bermakna (OECD, 2023; UNESCO, 2023). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis Android maupun multimedia interaktif mampu meningkatkan hasil belajar, motivasi, dan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran fisika (Alhusni et al., 2025; Siswanto et al., 2025). Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek hasil belajar atau motivasi belajar, sedangkan penelitian yang secara bersamaan mengkaji literasi digital dan pemahaman konsep pada materi perubahan iklim masih relatif terbatas. Selain itu, media yang dikembangkan umumnya hanya menyajikan materi dan latihan soal tanpa mengintegrasikan aktivitas yang secara langsung melatih indikator literasi digital peserta didik. Kondisi tersebut menunjukkan masih adanya peluang untuk mengembangkan media pembelajaran yang tidak hanya membantu memahami konsep fisika, tetapi juga mendukung pengembangan kompetensi literasi digital.

Bertolak dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android pada materi perubahan iklim yang memadukan teks, gambar, video, eksperimen sederhana, dan kuis interaktif. Media ini diharapkan mampu menjadi alternatif sumber belajar yang layak dan efektif untuk meningkatkan literasi digital sekaligus pemahaman konsep peserta didik.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model 4D yang meliputi tahap define, design, develop, dan disseminate (Thiagarajan et al., 1974). Tahap define dilakukan melalui analisis kebutuhan, karakteristik peserta didik, analisis konsep, serta perumusan tujuan pembelajaran. Tahap design meliputi perancangan media, penyusunan modul ajar, dan instrumen penelitian. Tahap develop mencakup validasi ahli dan praktisi, revisi produk, uji coba terbatas, serta uji coba lapangan. Tahap disseminate dilakukan melalui penyebaran media kepada guru dan peserta didik di sekolah penelitian.

Penelitian dilaksanakan di MAN 3 Sleman Yogyakarta pada semester genap tahun ajaran 2024/2025. Uji coba terbatas melibatkan 21 peserta didik kelas XI MIPA 2, sedangkan uji coba lapangan menggunakan desain quasi experiment dengan bentuk nonequivalent control group design, yang melibatkan 27 peserta didik kelas XA sebagai kelas eksperimen dan 29 peserta didik kelas XB sebagai kelas kontrol yang dipilih menggunakan cluster sampling. Kedua kelas diberikan pretest dan angket literasi digital sebelum pembelajaran, kemudian kelas eksperimen menggunakan media pembelajaran fisika interaktif berbasis Android, sedangkan kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Setelah pembelajaran, kedua kelas diberikan posttest dan angket literasi digital.

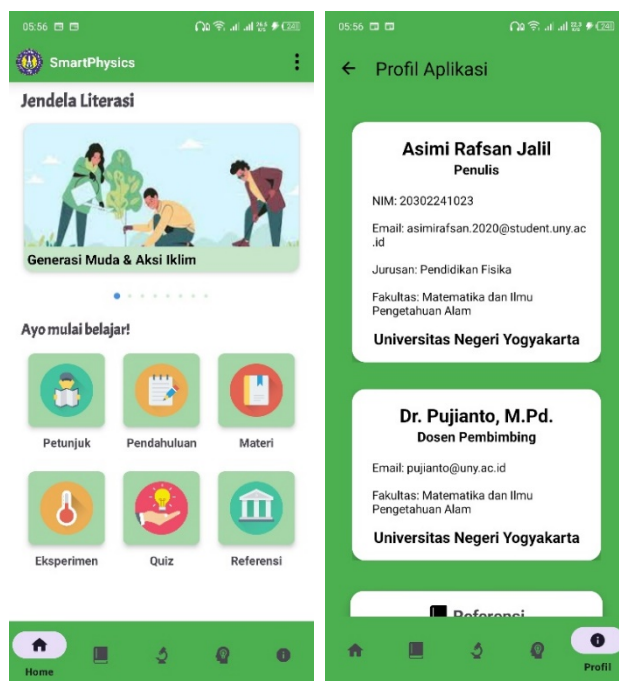
Instrumen penelitian terdiri atas lembar validasi ahli dan praktisi, soal pretest–posttest pemahaman konsep, angket literasi digital, angket respons peserta didik, dan lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran. Angket literasi digital disusun berdasarkan lima indikator, yaitu access, understand, evaluate, communicate, dan utilize, sedangkan tes pemahaman konsep dikembangkan berdasarkan indikator memahami, mengklasifikasi, menjelaskan, menghubungkan, dan menyimpulkan.

Kelayakan media dianalisis menggunakan Standar Baku Ideal (SBI), sedangkan validitas dan reliabilitas empiris instrumen dianalisis menggunakan Rasch Model berbantuan QUEST dengan kriteria INFIT MNSQ 0,77–1,30. Peningkatan literasi digital dan pemahaman konsep dianalisis menggunakan *N-Gain*. Sebelum uji hipotesis, data diuji normalitas menggunakan Kolmogorov–Smirnov dan homogenitas menggunakan Levene's Test. Perbedaan hasil belajar antara kelas eksperimen dan kontrol dianalisis menggunakan Independent Samples t-test dan MANOVA pada taraf signifikansi 5%, sedangkan besarnya pengaruh media ditentukan menggunakan Partial Eta Squared (*effect size*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android pada materi perubahan iklim dikembangkan melalui empat tahap model 4D. Produk akhir berupa aplikasi Android yang memuat menu Petunjuk, Pendahuluan, Materi, Eksperimen, Kuis, Referensi, dan Profil,



Gambar 1. Halaman Utama dan Halaman Profil Media Interaktif disertai modul ajar berbasis sintaks Discovery Learning untuk dua kali pertemuan (2×45 menit setiap pertemuan). Hasil produk media pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 1.

Kelayakan media pembelajaran interaktif fisika diperoleh dari penilaian validator ahli dan validator praktisi menggunakan metode Standar Baku Ideal (SBI). Media pembelajaran dinilai dari empat aspek yaitu materi, tampilan, kemudahan akses, dan bahasa. Hasil uji kelayakan media pembelajaran disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kelayakan Medea Pembelajaran

Aspek	Skor SBI	Kategori
Materi	4,50	Sangat Baik
Tampilan	4,45	Sangat Baik
Kemudahan Akses	4,62	Sangat Baik
Bahasa	4,13	Baik
Rata-rata	4,42	Sangat Baik

Uji coba luas dilaksanakan pada kelas eksperimen (XA) dan kelas kontrol (XB) untuk mengetahui peningkatan literasi digital dan pemahaman konsep peserta didik. Hasil analisis *N-Gain* untuk kedua variabel disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Hasil Analisis *N-Gain* Literasi Digital

Kelas	Rata-rata Awal	Rata-rata Akhir	<i>N-Gain</i>	Kategori
Eksperimen	2,59	3,40	0,57	Sedang
Kontrol	2,80	3,11	0,26	Rendah

Tabel 3. Hasil Analisis *N-Gain* Pemahaman Konsep

Kelas	Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	<i>N-Gain</i>	Kategori
Eksperimen	60,0	73,3	0,26	Rendah
Kontrol	60,1	61,5	-0,02	Terjadi Penurunan

Sebelum pengujian hipotesis, data *N-Gain* literasi digital dan pemahaman konsep diuji prasyarat. Hasil uji normalitas Kolmogorov–Smirnov menunjukkan seluruh data pada kedua kelas berdistribusi normal (Sig. > 0,05), dan hasil uji homogenitas Levene menunjukkan varians data bersifat homogen (Sig. > 0,05 untuk literasi digital maupun pemahaman konsep). Karena kedua asumsi terpenuhi, pengujian dilanjutkan dengan *Independent Sample t-Test* dan MANOVA yang hasilnya disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil *Independent Sample t-Test*

Variabel	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Literasi Digital	0,000	Berbeda signifikan
Pemahaman Konsep	0,001	Berbeda signifikan

Tabel 5. Hasil Uji MANOVA (*Wilks' Lambda*) dan *Effect Size*

Variabel	Sig. Wilks' Lambda	Eta Squared	Kategori Effect Size
Literasi Digital	0,000	0,326	Sedang
Pemahaman Konsep	0,000	0,172	Kecil

Uji Box's M sebagai prasyarat MANOVA menunjukkan matriks varians-kovarians antarkelompok homogen (Box's M = 1,942; Sig. = 0,601 > 0,005), sehingga asumsi MANOVA terpenuhi. Hasil uji Wilks' Lambda pada Tabel 6 menunjukkan nilai signifikansi 0,000 (Sig. < 0,05) yang berarti terdapat perbedaan literasi digital dan pemahaman konsep secara simultan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Nilai Partial Eta Squared menunjukkan pengaruh media terhadap literasi digital berada pada kategori sedang, sedangkan pengaruhnya terhadap pemahaman konsep berada pada kategori kecil.

Pembahasan

Hasil validasi menunjukkan bahwa media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android pada materi perubahan iklim memperoleh kategori sangat baik pada seluruh aspek penilaian, yaitu materi, tampilan, kemudahan akses, dan bahasa, dengan rata-rata keseluruhan 4,42. Pada aspek materi, penyajian konten yang runtut dan sesuai Capaian Pembelajaran serta

Tujuan Pembelajaran membantu peserta didik membangun pemahaman secara lebih bermakna, sejalan dengan pandangan Mayer (2020) bahwa materi yang terorganisasi dengan baik meningkatkan proses belajar melalui pembelajaran multimedia. Pada aspek tampilan, kombinasi warna, tata letak, dan tipografi yang konsisten turut meningkatkan perhatian dan keterlibatan peserta didik, sesuai dengan prinsip perpaduan unsur visual dan verbal yang dikemukakan Mayer (2020). Kemudahan akses media—yang dapat dioperasikan secara mandiri di dalam maupun di luar kelas—juga sejalan dengan temuan Almelhi (2021) bahwa antarmuka aplikasi mobile yang sederhana meningkatkan pengalaman belajar yang lebih fleksibel. Adapun pada aspek bahasa, penggunaan bahasa yang komunikatif dan sesuai tingkat perkembangan peserta didik mendukung penyampaian materi secara efektif, sebagaimana ditekankan Haleem, Javaid, Qadri, dan Suman (2022) mengenai pentingnya kejelasan bahasa dalam media digital.

Dari sisi keefektifan, media terbukti meningkatkan literasi digital peserta didik secara lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional, ditunjukkan oleh *N-Gain* kelas eksperimen sebesar 0,57 (kategori sedang) yang jauh melampaui kelas kontrol sebesar 0,26 (kategori rendah). Pembelajaran pada kelas eksperimen memberi kesempatan peserta didik mengakses materi, mengeksplorasi informasi, mengerjakan kuis, dan melakukan aktivitas belajar secara mandiri melalui perangkat digital, sehingga mengembangkan kemampuan mengakses, memahami, mengevaluasi, menyampaikan, dan memanfaatkan informasi digital. Temuan ini konsisten dengan Haleem et al. (2022) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi digital dalam pembelajaran meningkatkan keterlibatan sekaligus kompetensi literasi digital peserta didik, serta Falloon (2020) yang menegaskan bahwa media pembelajaran digital yang dirancang secara interaktif melatih peserta didik untuk tidak sekadar menggunakan teknologi, tetapi juga memahami dan mengevaluasi informasi secara kritis. Bond (2024) turut melaporkan tren serupa bahwa integrasi teknologi digital dalam pembelajaran berkontribusi positif terhadap kualitas proses belajar.

Pada variabel pemahaman konsep, kelas eksperimen mengalami peningkatan rata-rata skor dari 60,0 menjadi 73,3 (*N-Gain* 0,26, kategori rendah), sedangkan kelas kontrol justru mengalami sedikit penurunan dari 60,1 menjadi 61,5 (*N-Gain* -0,02). Kombinasi teks, gambar, video pembelajaran, eksperimen sederhana, dan kuis interaktif pada media membantu peserta didik mempelajari konsep perubahan iklim secara bertahap dan menghubungkannya dengan fenomena sehari-hari, sejalan dengan Mayer (2020) bahwa pembelajaran multimedia meningkatkan pemahaman konsep melalui perpaduan saluran visual dan verbal. Meskipun demikian, peningkatan pada kelas eksperimen masih berada pada kategori rendah, yang diduga dipengaruhi oleh kemampuan awal peserta didik yang beragam, keterbatasan waktu penggunaan media yang hanya berlangsung dua kali pertemuan, serta peserta didik yang belum terbiasa belajar mandiri melalui media berbasis Android.

Keefektifan media secara keseluruhan diperkuat oleh *hasil Independent Sample t-Test* yang menunjukkan perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol pada literasi digital maupun pemahaman konsep (Sig. < 0,05), serta hasil uji MANOVA (*Wilks' Lambda* = 0,000) yang menunjukkan perbedaan signifikan pada kedua variabel secara simultan. Nilai effect size (Partial Eta Squared) sebesar 0,326 untuk literasi digital dan 0,172 untuk pemahaman konsep menunjukkan bahwa media memberikan pengaruh dengan kategori sedang terhadap literasi digital dan kategori kecil terhadap pemahaman konsep. Dengan kata lain, media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan literasi digital dibandingkan pemahaman konsep, meskipun keduanya menunjukkan arah peningkatan yang positif setelah penggunaan media dalam pembelajaran materi perubahan iklim.

Beberapa keterbatasan turut memengaruhi hasil penelitian ini, antara lain adanya peserta didik yang tidak mengikuti seluruh rangkaian pembelajaran, cakupan subjek yang terbatas pada satu sekolah sehingga hasil belum dapat digeneralisasikan secara luas, faktor eksternal di luar kendali peneliti, serta durasi implementasi media yang hanya dua kali pertemuan. Implementasi dengan durasi yang lebih panjang dan berkelanjutan berpotensi memberikan peningkatan pemahaman konsep yang lebih optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa: (1) media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android pada materi perubahan iklim dinyatakan sangat layak digunakan dalam pembelajaran, berdasarkan penilaian validator ahli dan praktisi yang menunjukkan kategori sangat baik pada aspek materi, tampilan, kemudahan akses, dan bahasa; dan (2) media pembelajaran ini terbukti efektif meningkatkan literasi digital dan pemahaman konsep peserta didik, ditunjukkan oleh nilai *N-Gain* kelas eksperimen yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol pada kedua variabel, serta *hasil Independent Sample t-Test* dan MANOVA yang menunjukkan perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol ($\text{Sig.} < 0,05$). Media memberikan pengaruh dengan kategori sedang terhadap literasi digital dan kategori kecil terhadap pemahaman konsep. Dengan demikian, media pembelajaran interaktif fisika berbasis Android dapat menjadi salah satu alternatif inovasi media pembelajaran fisika, khususnya pada materi perubahan iklim, untuk mendukung peningkatan literasi digital dan pemahaman konsep peserta didik SMA/MA

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat selesai dikarenakan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Rosana, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
2. Bapak Dr. Ali Mahmudi, M.Pd. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan, dan Alumni Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
3. Bapak Prof. Dr. Heru Kuswanto, M.Si., selaku Ketua Departemen Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Bapak Dr. Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Bapak Dr. Pujiyanto, M.Pd. selaku dosen pembimbing TAS yang telah membimbing, memotivasi, memberikan nasihat, perhatian, dan meluangkan waktunya selama penulisan TAS ini.
6. Bapak Moh. Fadlil Afif, Lc., M.Pd. selaku kepala sekolah MAN 3 Sleman yang telah memberikan izin dalam melaksanakan penelitian TAS ini.
7. Nur Sulhiyatun Wahidah, S.Pd. selaku guru pamong MAN 3 Sleman yang berkenan memberikan kesempatan dan waktu untuk melaksanakan penelitian.
8. Adik-adik kelas XI MIPA 2, XA dan XB MAN 3 Sleman Tahun Ajaran 2024/2025 yang telah ikut serta dengan baik selama kegiatan pembelajaran berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Alhusni, H. Z., Ramadani, R., Sunarti, T., & Madlazim, M. (2025). Simulation Technologies in Physics Learning for Education for Sustainable Development. *Journal of Innovative Technology and Sustainability Education*, 1(3), 107–107.

- Almelhi, A. M. (2021). Effectiveness of the ADDIE model within an E-learning environment in developing creative writing in EFL students. *English Language Teaching*, 14(2), 20–36.
- Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia. (2024). Survei penetrasi internet Indonesia 2024. <https://apjii.or.id>
- Bond, M. (2024). The international journal of educational technology in higher education: Content and authorship analysis 2010–2024. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 60.
- Cohen, J. (1998). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- De Paula, M. A., Pedroso, D. S., & Grein, J. C. (2024). Climate change education in secondary schools: a systematic review (2000–2024).
- Docktor, J. L., & Mestre, J. P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 10(2), 020119.
- Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: the teacher digital competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, 68(5), 2449–2472.
- Hake, R. R. (1999). *Analyzing Change/Gain Scores*. Indiana University.
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285.
- Kahar, M. S., Mawardi, M., Arsyad, R. B., Fathurrahman, M., & Rachman, S. (2025). Effects of real-world problem worksheets integrated with higher order thinking skills on physics learning outcomes. *Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains*, 14(2), 127–136.
- Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia. (2024). Indeks literasi digital Indonesia 2022. <https://data.komdigi.go.id/>
- Maharani, L. A., & Diyana, T. N. (2025). Identifikasi miskonsepsi fisika melalui three-tier diagnostic test: sebuah kajian literatur. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(2), 198–216.
- Mardapi, D. (2017). *Pengukuran, penilaian, dan evaluasi pendidikan* (2nd ed.). Parama Publishing.
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Nyirahabimana, P., Minani, E., Nduwingoma, M., & Kemeza, I. (2024). Assessing the impact of multimedia application on student conceptual understanding in Quantum Physics at the Rwanda College of Education. *Education and Information Technologies*, 29(3), 3423–3444.
- Prinanda, D. (2025). Analisis problematika guru dalam implementasi media pembelajaran berbasis teknologi. *IJAM-EDU (Indonesian Journal of Administration and Management in Education)*, 2(2), 329–353.
- Rodhiyah, S. A., & Suharno. (2025). Implementation of problem-based learning e-modules to enhance problem-solving skills on global warming. *Compton: Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 11(1), 130–141. <https://doi.org/10.30738/cjipf.v11i2.19916>
- Siswanto, D. A. C., Iswanto, B. H., & Rahmawati, Y. (2025). The impact of mobile learning on physics education: A systematic literature review. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 11(1), 13–26. <https://doi.org/10.21009/1.11102>
- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Sundayana, R. (2020). *Statistika penelitian pendidikan*. Alfabeta.

Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). Instructional development for training teachers of exceptional children. Indiana University.

UNESCO. (2023). Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2.

Appendix

Appendix (lampiran) tidak wajib ada. Lampiran tidak boleh lebih dari satu halaman.