

**PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN
BERBASIS *AUGMENTED REALITY* INTERAKTIF PADA
MATERI GELOMBANG MEKANIK UNTUK
MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP BERBASIS
SPASIAL PESERTA DIDIK**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1



Hauriyatul Illiyyin

22104050032

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN

UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

2026

**PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN
BERBASIS *AUGMENTED REALITY* INTERAKTIF PADA
MATERI GELOMBANG MEKANIK UNTUK
MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP BERBASIS
SPASIAL PESERTA DIDIK**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1



Hauriyatul Illiyyin

22104050032

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN

UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

2026



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 513056 Fax. (0274) 586117 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2524/Un.02/DT/PP.00.9/08/2026

Tugas Akhir dengan judul : PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN BERBASIS *AUGMENTED REALITY* INTERAKTIF PADA MATERI GELOMBANG MEKANIK UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP BERBASIS SPASIAL PESERTA DIDIK

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HAURIYATUL ILLIYYIN
Nomor Induk Mahasiswa : 22104050032
Telah diujikan pada : Rabu, 08 Juli 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 6a73800d3f6e

Ketua Sidang

Ari Cahya Mawardi, M.Pd.
SIGNED



Valid ID: 6a7369f489544

Penguji I

Dr. Winarti, S.Pd., M.Pd.Si
SIGNED



Valid ID: 6a66d086c9d3e

Penguji II

Himawan Putranta, M.Pd.
SIGNED



Valid ID: 6a7389de70f7

Yogyakarta, 08 Juli 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd.I., M.Pd.
SIGNED

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hauriyatul Illiyyin
NIM : 22104050032
Program Studi : Pendidikan Fisika
Fakultas : Ilmu Tarbiyah Dan Keguruan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengembangan *Augmented Reality* Interaktif pada Materi Gelombang Mekanik untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik” merupakan hasil karya tulis saya sendiri yang disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan. Seluruh sumber, data, pendapat, maupun kutipan yang berasal dari karya orang lain telah dicantumkan dan diakui secara jelas sesuai dengan kaidah, etika, dan norma penulisan karya ilmiah yang berlaku. Saya tidak melakukan plagiarisme, baik sebagian maupun seluruhnya, terhadap karya ilmiah orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar atau ditemukan adanya pelanggaran akademik dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi dan sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 23 Juni 2026

Yang menyatakan,



Hauriyatul Illiyyin

NIM. 22104050032

SURAT PERNYATAAN BERJILBAB

Yang bertanda tangan di bawah ini:

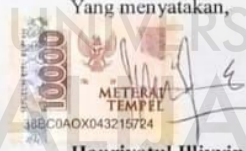
Nama : Hauriyatul Illiyin
Tempat Tanggal Lahir : Sidoarjo, 01 Februari 2004
NIM : 22104050032
Program Studi : Pendidikan Fisika
Fakultas : Ilmu Tarbiyah Dan Keguruan
Alamat : Jl. Kendung No. 82, Gg. VII, RT 005/RW 003,
Kelurahan Sememi, Kecamatan Benowo, Kota
Surabaya, Provinsi Jawa Timur.

Dengan ini menyatakan bahwa pas foto yang saya gunakan untuk keperluan penerbitan ijazah menggunakan jilbab atas kesadaran dan kemauan saya sendiri, tanpa adanya paksaan dari pihak mana pun. Saya memahami dan menerima sepenuhnya segala konsekuensi yang mungkin timbul di kemudian hari terkait penggunaan pas foto tersebut, serta menyatakan bahwa hal tersebut menjadi tanggung jawab pribadi saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai salah satu persyaratan dalam mengikuti Ujian Tugas Akhir pada Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Yogyakarta, 23 Juni 2026

Yang menyatakan,



Hauriyatul Illiyin

NIM. 22104050032

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Hal : Permohonan Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lamp : Satu Bendel Skripsi

Kepada Yth.
Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, menelaah, memberikan arahan, serta melakukan koreksi dan perbaikan seperlunya, maka kami selaku dosen pembimbing berpendapat bahwa skripsi mahasiswa:

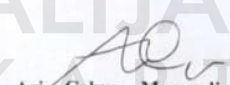
Nama : Hauriyatul Illiyyin
NIM : 22104050032
Judul Skripsi : Pengembangan Augmented Reality Interaktif pada Materi Gelombang Mekanik untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik

telah memenuhi syarat dan dapat diajukan kepada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta untuk diujikan dalam sidang munaqasyah sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) pada Program Studi Pendidikan Fisika.

Sehubungan dengan hal tersebut, kami mengharapkan agar skripsi mahasiswa yang bersangkutan dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatian dan kebijaksanaan Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 22 Juni 2026
Dosen Pembimbing,


Ari Cahya Mawardi, M.Pd.
NIP. 19880602 201903 1 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat, karunia, kesehatan, kemudahan, dan kekuatan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan penuh rasa syukur, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas segala rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya yang senantiasa menyertai setiap langkah penulis dalam menyelesaikan pendidikan hingga tahap ini.
2. Ibu Hanum Badriyah, yang selalu menjadi tempat pulang sekaligus sumber kekuatan terbesar bagi penulis. Terima kasih atas kasih sayang yang tidak pernah berkurang, doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah, serta ketulusan dan perhatian yang selalu diberikan tanpa mengenal lelah. Kehangatan dan cinta beliau menjadi alasan bagi penulis untuk terus bertahan, bangkit, dan menyelesaikan setiap proses hingga sampai pada titik ini.
3. Ayah Miwagianto, yang telah memberikan kepercayaan, dukungan, dan kesempatan kepada penulis untuk terus belajar dan meraih cita-cita. Terima kasih atas segala usaha, kerja keras, dan pengorbanan yang dilakukan dengan penuh tanggung jawab. Kepercayaan yang beliau berikan menjadi dorongan bagi penulis untuk terus berkembang dan berusaha memberikan yang terbaik.
4. Keluarga besar, yang telah menciptakan lingkungan penuh kasih, perhatian, dan nilai-nilai kehidupan yang baik sehingga tertanam dalam diri penulis untuk senantiasa bersyukur, menghargai proses, dan terus berusaha menjadi pribadi yang lebih baik. Terima kasih atas doa, dukungan, serta kebersamaan yang selalu menjadi penguat dalam setiap perjalanan penulis.
5. Bapak Ari Cahya Mawardi, M.Pd., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.

6. Diri saya sendiri, terima kasih karena telah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses yang dilalui. Terima kasih karena tetap melangkah meskipun jalan yang ditempuh tidak selalu mudah, tetap bangkit di tengah rasa lelah, serta tetap percaya bahwa setiap usaha yang dilakukan dengan sungguh-sungguh akan menemukan hasil terbaiknya.



HALAMAN INTEGRASI-INTERKONEKSI KEILMUAN

Pendidikan fisika tidak hanya bertujuan membekali peserta didik dengan pengetahuan dan keterampilan ilmiah, tetapi juga menumbuhkan kesadaran akan kebesaran Allah SWT melalui pengkajian fenomena alam. Berbagai gejala alam yang dipelajari dalam fisika merupakan bagian dari *sunnatullah* yang menunjukkan keteraturan dan kesempurnaan ciptaan-Nya. Salah satu materi fisika yang menggambarkan keteraturan tersebut adalah gelombang mekanik. Konsep gelombang mekanik melibatkan berbagai fenomena yang terjadi di sekitar manusia, seperti gelombang pada tali, gelombang air, dan gelombang bunyi. Namun, karakteristik gelombang yang bersifat abstrak sering kali menyebabkan peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep yang dipelajari.

Untuk membantu peserta didik memahami konsep gelombang mekanik secara lebih konkret, diperlukan media pembelajaran yang mampu menyajikan visualisasi secara jelas dan interaktif. Salah satu inovasi yang dapat dimanfaatkan adalah media pembelajaran berbasis *augmented reality*. Teknologi AR memungkinkan peserta didik mengamati model gelombang dalam bentuk tiga dimensi, mengeksplorasi karakteristik gelombang, serta membangun representasi mental yang lebih baik terhadap konsep yang dipelajari. Dengan demikian, penggunaan AR tidak hanya berfungsi sebagai sarana pembelajaran, tetapi juga sebagai media untuk memahami tanda-tanda kebesaran Allah SWT yang tercermin dalam keteraturan fenomena alam.

Pentingnya menuntut ilmu dan memahami berbagai fenomena di alam semesta sejalan dengan firman Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah Az-Zumar ayat 9:

قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ ۗ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُوا الْأَلْبَابِ

Artinya: “Katakanlah, apakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui? Sesungguhnya hanya orang yang berakal sehat yang dapat menerima pelajaran.” (QS. Az-Zumar [39]: 9)

Ayat tersebut menunjukkan keutamaan ilmu pengetahuan dan pentingnya proses pembelajaran dalam kehidupan manusia. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan media pembelajaran berbasis AR merupakan salah satu upaya untuk membantu peserta didik memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap konsep gelombang mekanik melalui pengalaman belajar yang lebih konkret dan bermakna. Selain itu, Allah SWT juga mendorong manusia untuk memperhatikan dan merenungkan berbagai fenomena yang terjadi di alam semesta sebagaimana firman-Nya dalam Surah Ali 'Imran ayat 190:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

Artinya: “Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang berakal.” (QS. Ali 'Imran [3]: 190)

Ayat tersebut mengajarkan bahwa fenomena alam merupakan tanda-tanda kebesaran Allah SWT yang perlu dipelajari dan dipahami oleh manusia. Dalam pembelajaran fisika, fenomena gelombang mekanik dapat menjadi salah satu sarana untuk mengkaji keteraturan hukum-hukum alam yang telah ditetapkan oleh Allah SWT. Melalui visualisasi tiga dimensi yang disajikan oleh media AR, peserta didik dapat mengamati karakteristik gelombang secara lebih jelas, memahami hubungan antarbesaran gelombang, serta membangun pemahaman konsep berbasis spasial yang lebih baik.

Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik tidak hanya mendukung peningkatan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik, tetapi juga menjadi sarana integrasi antara ilmu fisika dan nilai-nilai keislaman. Melalui pembelajaran tersebut, peserta didik diharapkan mampu memahami fenomena alam secara ilmiah sekaligus meningkatkan kesadaran akan kebesaran Allah SWT sebagai Pencipta alam semesta.

MOTTO

وَفَوْقَ كُلِّ ذِي عِلْمٍ عَلِيمٌ

"Dan di atas setiap orang yang berpengetahuan masih ada yang lebih mengetahui."

(QS. Yusuf [12]: 76)

وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى

"Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya."

(QS. An-Najm [53]: 39)

"الْعِلْمُ بِلَا عَمَلٍ جُنُونٌ، وَالْعَمَلُ بِلَا عِلْمٍ لَا يَكُونُ"

"Ilmu tanpa amal adalah kegilaan, dan amal tanpa ilmu tidak akan berarti."

(Imam Al-Ghazali)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, serta ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Berbasis *Augmented Reality* Interaktif pada Materi Gelombang Mekanik untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta batasan penelitian. Bab II berisi kajian pustaka yang meliputi landasan teori, penelitian yang relevan, kerangka berpikir, dan hipotesis penelitian. Bab III menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi model pengembangan, prosedur penelitian, instrumen, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis data. Bab IV memaparkan hasil penelitian dan pembahasan yang mencakup proses pengembangan produk, hasil validasi, kualitas media pembelajaran, hasil uji coba terbatas, serta pembahasan mengenai peningkatan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik. Bab V berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd.I., M.Pd., selaku Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, Iva Nandya Atika, S.Pd., M.Ed., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika, serta seluruh dosen Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan wawasan selama masa perkuliahan. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Ari Cahya Mawardi, M.Pd., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta masukan selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu Dr. Winarti, S.Pd., M.Pd.Si.,

Bapak Himawan Putranta, M.Pd., Ibu Puspo Rohmi, M.Pd., Ibu Iva Nandya Atika, S.Pd., M.Ed., Bapak Joko Purwanto, S.Si., M.Sc., Bapak Norma Sidik Risdianto, S.Pd., M.Sc., Ph.D., Bapak Ari Cahya Mawardi, M.Pd., serta Ibu El Minahussaniyyatul Ula, M.Pd. yang telah memberikan arahan, saran, masukan, serta penilaian yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan media pembelajaran dan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kepala sekolah, guru fisika, serta peserta didik kelas XI MA Tahfidz El-Muna Q Bantul atas izin, bantuan, dan kerja sama yang diberikan selama pelaksanaan penelitian.

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada Ayah dan Ibu yang senantiasa memberikan kepercayaan, kasih sayang, dukungan, pengorbanan, serta doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan hingga tahap ini. Terima kasih juga kepada Mas Akim, Mbak Nafis, Zakky, Mbak Yeni, Mas Rohman, Adik Salma, dan adik kecil yang masih berada dalam kandungan atas segala cinta dan kekuatan yang diberikan. Penulis juga bersyukur dipertemukan dengan keluarga yang tidak terikat oleh hubungan darah, yaitu Kak Ipe, Nyuk, Widi, dan Otoyok, yang selalu menjadi tempat berbagi cerita dan menemukan kembali tawa di tengah berbagai proses kehidupan. Meski dipisahkan oleh kota yang berbeda, hangatnya persaudaraan tetap terasa begitu dekat. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Mas Ariby yang telah hadir, membersamai, serta memberikan dukungan dan ketenangan dalam berbagai proses yang dilalui penulis hingga sampai pada titik ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan penghuni Kamar 10A, yaitu Mbak Khima, Fia, Najma, Lala, Nova, dan Firda, yang telah membersamai berbagai proses, cerita, dan perjuangan selama masa perkuliahan di tengah kesibukan kehidupan pesantren. Terima kasih kepada keluarga besar "Anak Bawang", yaitu Zahra, Dinda, Zu'ama, Okta, Dian, dan Alfi, yang telah menjadi teman bertumbuh dan berbagi pengalaman selama menjalani kehidupan di perantauan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman Divisi Keamanan, yaitu Mbak Aida, Mbak Uli, Afifah, Nila, Eka, Fida, Salma, dan Hanum, atas kebersamaan,

kerja sama, serta pengalaman berharga yang telah dibagikan. Kepada Diana dan Litta yang senantiasa menemani dan memberikan semangat selama masa perkuliahan, serta Neha dan Yuski selaku teman seperantauan yang telah menghadirkan tawa dan menjadi tempat berbagi cerita di tengah lelahnya kehidupan di perantauan, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Terima kasih juga kepada teman-teman Pendidikan Fisika Angkatan 2022 serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Kehadiran, bantuan, dukungan, dan kebersamaan yang diberikan telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik maupun kehidupan penulis.

Semoga segala bantuan, dukungan, dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pendidikan fisika serta menjadi salah satu referensi bagi penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 26 Juni 2026

Penulis,



Haurivatul Illiyvin

NIM. 22104050032

PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN BERBASIS *AUGMENTED REALITY* INTERAKTIF PADA MATERI GELOMBANG MEKANIK UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP BERBASIS SPASIAL PESERTA DIDIK

Hauriyatul Illiyvin

22104050032

INTISARI

Materi gelombang mekanik merupakan materi fisika yang bersifat abstrak sehingga memerlukan kemampuan spasial untuk membangun representasi mental terhadap konsep yang dipelajari. Namun, media pembelajaran yang digunakan belum mampu menyajikan representasi spasial secara konkret dan interaktif sehingga pemahaman konsep peserta didik belum optimal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi pembelajaran berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik, mengetahui kualitas produk berdasarkan penilaian ahli, serta mendeskripsikan perubahan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik setelah menggunakan aplikasi yang dikembangkan.

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and development*) dengan model ADDIE. Produk yang dikembangkan berupa aplikasi pembelajaran berbasis *augmented reality*. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi, lembar penilaian kualitas produk, serta soal *pretest* dan *posttest*. Penilaian produk dilakukan oleh dua ahli materi dan dua ahli media, sedangkan uji coba terbatas melibatkan 30 peserta didik kelas XI MA Tahfidz El-Muna Q Bantul. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan skor validasi, skor penilaian kualitas produk, dan *N-Gain*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumen penelitian memiliki validitas sebesar 0,90 (valid). Penilaian ahli menunjukkan aplikasi memperoleh rata-rata skor 3,62 dengan kategori sangat baik. Hasil uji coba menunjukkan skor rata-rata *pretest* meningkat dari 54 menjadi 96 pada *posttest* dengan nilai *N-Gain* 0,91 (kategori tinggi). Dengan demikian, aplikasi pembelajaran berbasis *augmented reality* yang dikembangkan memiliki kualitas sangat baik, layak digunakan sebagai media pembelajaran, serta berpotensi memfasilitasi pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik.

Kata kunci: *Augmented reality*, aplikasi pembelajaran, gelombang mekanik, pemahaman konsep berbasis spasial.

PENGEMBANGAN APLIKASI PEMBELAJARAN BERBASIS *AUGMENTED REALITY* INTERAKTIF PADA MATERI GELOMBANG MEKANIK UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP BERBASIS SPASIAL PESERTA DIDIK

Hauriyatul Illiyvin

22104050032

ABSTRACT

Mechanical waves are an abstract topic in physics that requires spatial ability to construct mental representations of the concepts being learned. However, the learning media currently used are not able to provide concrete and interactive spatial representations, resulting in suboptimal conceptual understanding among students. Therefore, this study aimed to develop an augmented reality -based learning application for mechanical waves, determine the quality of the product based on expert evaluation, and describe changes in students' spatial-based conceptual understanding after using the developed application.

This study employed a Research and Development (R&D) approach using the ADDIE development model. The developed product was an augmented reality-based learning application. The research instruments consisted of validation sheets, product quality assessment sheets, and pretest and posttest questions. Product evaluation was conducted by two subject-matter experts and two media experts, while the limited trial involved 30 eleventh-grade students of MA Tahfidz El-Muna Q Bantul. The data were analyzed descriptively using validation scores, product quality assessment scores, and the *N-Gain* score.

The results showed that the research instruments achieved a validity score of 0.90, indicating that they were valid. Expert evaluation indicated that the application obtained an average score of 3.62, which was categorized as very good. The limited trial showed that the average pretest score increased from 54 to 96 on the posttest, with an *N-Gain* score of 0.91 (high category). These findings indicate that the developed augmented reality-based learning application is of very good quality, is suitable for use as a learning medium, and has the potential to facilitate students' spatial-based conceptual understanding.

Keywords: Augmented reality, learning application, mechanical waves, spatial-based conceptual understanding.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERNYATAAN BERJILBAB	iv
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN INTEGRASI-INTERKONEKSI KEILMUAN	viii
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah	8
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	8
F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan	9
G. Manfaat Penelitian	10
H. Keterbatasan Pengembangan	10
I. Definisi Istilah	11
BAB II	13

LANDASAN TEORI	13
A. Kajian Teori	13
1. Media, Alat, dan Sumber Belajar	13
2. Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Digital	19
3. <i>Augmented Reality</i> dalam Pembelajaran Fisika	21
4. Gelombang Mekanik	25
5. Pemahaman Konsep dalam Pembelajaran Fisika	43
6. Kemampuan Spasial	48
7. Pemahaman Konsep Berbasis Spasial	54
B. Kajian Penelitian yang Relevan	59
C. Kerangka Berpikir	61
BAB III	65
METODE PENELITIAN	65
A. Model Pengembangan	65
B. Prosedur Pengembangan	66
1. <i>Analysis</i> (Analisis)	66
2. <i>Design</i> (Perancangan)	66
3. <i>Development</i> (Pengembangan)	67
4. <i>Implementation</i> (Implementasi)	67
5. <i>Evaluation</i> (Evaluasi)	68
C. Uji Coba Produk	68
1. Desain Uji Coba	68
2. Subjek Coba	69
3. Jenis Data	70
4. Instrumen Pengumpulan Data	71
D. Teknik Analisis Data	74
1. Analisis Validasi Instrumen	74

2. Analisis Penilaian Kualitas Produk.....	75
3. Analisis Peningkatan Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik (<i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i>).....	77
BAB IV	79
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	79
A. Hasil Penelitian	79
1. Proses Pengembangan.....	79
2. Validasi Instrumen	104
3. Penilaian Produk	108
4. Uji Coba Terbatas	119
B. Pembahasan	122
1. Kualitas Produk.....	122
2. Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik.....	128
BAB V	145
PENUTUP	145
A. Kesimpulan	145
B. Saran.....	146
DAFTAR PUSTAKA.....	148
LAMPIRAN.....	155
BIODATA PENULIS.....	229

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kisi-Kisi Instrumen Penilaian Kualitas Produk <i>Augmented Reality</i>	71
Tabel 3. 2 Kisi-Kisi Instrumen Soal <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i> Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Peserta Didik	72
Tabel 3. 3 Kisi-Kisi Validasi Instrumen	73
Tabel 3. 4 Parameter Penilaian Kualitas Produk	75
Tabel 3. 5 Kategori Kualitas Produk (Sugiyono, 2017)	77
Tabel 3. 6 Interpretasi N-Gain (Hake, 1999)	78
Tabel 4. 1 Hasil Akhir Validasi Instrumen Soal <i>Pretest-Posttest</i>	105
Tabel 4. 2 Hasil Akhir Validasi Instrumen Soal <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i>	106
Tabel 4. 3 Komentar atau Saran Validator 1 Instrumen Soal <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i>	107
Tabel 4. 4 Hasil Akhir Penilaian Produk	110
Tabel 4. 5 Hasil Uji N-Gain	121
Tabel 4. 6 Persentase Peningkatan Jawaban Benar pada Setiap Butir Soal Indikator Transformasi Spasial	133
Tabel 4. 7 Persentase Peningkatan Jawaban Benar pada Setiap Butir Soal Indikator Penalaran Spasial Dinamis	135
Tabel 4. 8 Persentase Peningkatan Jawaban Benar pada Setiap Butir Soal Indikator Visualisasi Spasial	137
Tabel 4. 9 Persentase Peningkatan Jawaban Benar pada Setiap Butir Soal Indikator Multi -Representasi	138

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Bentuk Gelombang Transversal	29
Gambar 2. 2 Ilustrasi Bentuk Gelombang Longitudinal	32
Gambar 2. 3 Pemantulan Gelombang pada Ujung Tetap	38
Gambar 2. 4 Pembiasan Gelombang pada Dua Medium	39
Gambar 2. 5 Interferensi Konstruktif dan Destruktif	40
Gambar 2. 6 Difraksi Gelombang pada Celah Sempit	40
Gambar 2. 7 Prinsip Superposisi Gelombang	41
Gambar 2. 8 Peristiwa Dispersi Gelombang	42
Gambar 2. 9 Hubungan Amplitudo dan Energi Gelombang	42
Gambar 2. 10 Bagan Kerangka Berpikir	64
Gambar 4. 1 Tampilan Halaman Awal	90
Gambar 4. 2 Tampilan Halaman <i>Main menu</i>	91
Gambar 4. 3 Tampilan Menu Materi	91
Gambar 4. 4 Tampilan Menu Latihan Soal	92
Gambar 4. 5 Tampilan Menu Kamera AR	92
Gambar 4. 6 Tampilan Menu Hamburger	93
Gambar 4. 7 Proses Perancangan AR	95
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Penilaian Kualitas Produk	109
Gambar 4. 9 Grafik Rerata Penilaian Produk Per Aspek	110
Gambar 4. 10 Menu Tujuan Pengembangan Sebelum Revisi	113
Gambar 4. 11 Menu Tujuan Pengembangan Sesudah Revisi	113
Gambar 4. 12 Tampilan Poster Ajakan Eksplorasi AR pada Akhir Menu Materi	114
Gambar 4. 13 Penambahan Petunjuk Penggunaan AR pada Menu Petunjuk Penggunaan	114
Gambar 4. 14 Tampilan Setelah Perbaikan Penyusunan Materi	116
Gambar 4. 15 Tampilan Perbaikan Kejelasan Gambar pada Menu Latihan Soal	119
Gambar 4. 16 Dokumentasi Implementasi Uji Coba Terbatas	121
Gambar 4. 17 Persentase Penguasaan Setiap Indikator Kemampuan Spasial pada <i>Pretest dan Posttest</i>	131

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Izin Penelitian Tugas Akhir.....	155
Lampiran 2 Bukti Turnitin	156
Lampiran 3 Kisi-Kisi Instrumen Penilaian Kualitas Produk	157
Lampiran 4 Kisi-Kisi Instrumen Penilaian Pemahaman Konsep Berbasis Spasial ..	159
Lampiran 5 Lembar Penilaian Pemahaman Konsep Berbasis Spasial.....	163
Lampiran 6 Surat Permohonan Validasi Instrumen Penelitian	169
Lampiran 7 Validasi Instrumen Produk.....	170
Lampiran 8 Validasi Instrumen <i>Pretest</i> dan <i>Posttest</i>	190
Lampiran 9 Surat Permohonan Penilaian Produk Penelitian	202
Lampiran 10 Lembar Penilaian Produk	206
Lampiran 11 Hasil <i>Pretest</i> Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Materi Gelombang Mekanik	226
Lampiran 12 Hasil <i>Posttest</i> Pemahaman Konsep Berbasis Spasial Materi Gelombang Mekanik	227
Lampiran 13 Dokumentasi Pasca Pelaksanaan Penelitian	228



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemampuan spasial merupakan salah satu kemampuan kognitif yang berperan penting dalam pembelajaran fisika, terutama pada materi yang bersifat abstrak dan melibatkan hubungan antarbentuk, arah, maupun posisi objek dalam ruang. Menurut Wu dkk. (2013), kemampuan spasial mencakup keterampilan untuk membayangkan, memutar, dan memanipulasi objek secara mental dalam ruang tiga dimensi. Kemampuan tersebut memungkinkan peserta didik membangun representasi mental terhadap fenomena fisika yang tidak dapat diamati secara langsung sehingga membantu terbentuknya pemahaman konsep yang lebih utuh. Sebaliknya, keterbatasan kemampuan spasial dapat menyebabkan peserta didik mengalami kesulitan menghubungkan representasi visual dengan konsep ilmiah yang dipelajari.

Di jenjang sekolah menengah, kemampuan spasial peserta didik masih menunjukkan kondisi yang perlu mendapat fokus khusus dalam proses pembelajaran sains. Ibili dkk. (2020) menemukan bahwa sebagian besar peserta didik mengalami kesulitan dalam mengaitkan representasi visual dengan konsep fisika abstrak. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peserta didik sering mengalami beban kognitif berlebih (*cognitive overload*) ketika harus memvisualisasikan konsep tiga dimensi hanya dari gambar dua dimensi di buku teks. Hal serupa dikemukakan oleh Narpila (2018) di dalam penelitiannya yang menunjukkan bahwa kemampuan spasial peserta didik pada awalnya berada pada kategori rendah dan baru mengalami peningkatan setelah diterapkan pembelajaran berbasis inkuiri. Di penelitian yang lain pula, Guci & Siregar (2024) mengungkapkan bahwa lebih dari separuh peserta didik berada dalam

kategori sangat rendah untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan materi bangun ruang kubus. Temuan-temuan dari beberapa penelitian mutakhir tersebut menunjukkan bahwa kemampuan spasial masih menjadi tantangan yang perlu diperhatikan dalam proses pembelajaran sains di sekolah.

Salah satu materi fisika yang memerlukan kemampuan spasial adalah gelombang mekanik. Materi ini tidak hanya menuntut peserta didik memahami konsep dan persamaan matematis, tetapi juga membangun representasi mental mengenai bentuk gelombang, arah rambat, arah getar partikel, serta hubungan antarbesaran gelombang. Kemampuan tersebut diperlukan agar peserta didik mampu memvisualisasikan fenomena gelombang yang tidak dapat diamati secara langsung. Menurut Sutopo (2016), pemahaman konsep gelombang yang baik menjadi dasar dalam mempelajari materi fisika lain, seperti cahaya, bunyi, listrik, dan magnet. Selain itu, konsep gelombang juga berperan penting dalam berbagai bidang ilmu, seperti optik, mekanika kuantum (Wittmann dkk., 2002), serta spektroskopi, seismologi, meteorologi, keteknikan, dan elektronika (Kennedy & de Bruyn, 2011). Oleh karena itu, karakteristik materi gelombang mekanik yang bersifat abstrak menjadikan kemampuan spasial sebagai salah satu aspek penting dalam membantu peserta didik membangun pemahaman konsep secara utuh.

Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa peserta didik masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep gelombang mekanik. Jumadin dkk. (2017) menemukan bahwa peserta didik mengalami kesulitan membedakan arah rambat dan arah getar partikel pada gelombang. Sementara itu, Ansyah dkk. (2021) melaporkan adanya miskonsepsi pada konsep kecepatan gelombang, superposisi, refleksi, serta hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan medium perambatan. Berbagai kesulitan tersebut menunjukkan bahwa peserta didik tidak hanya dituntut menguasai konsep secara teoritis, tetapi juga mampu membangun representasi spasial terhadap fenomena gelombang yang dipelajari. Oleh karena itu, pembelajaran

gelombang mekanik memerlukan media yang mampu menyajikan visualisasi secara konkret dan interaktif agar peserta didik lebih mudah memahami hubungan antarkonsep serta mengurangi terjadinya miskonsepsi.

Untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi pembelajaran fisika di MA Tahfidz El-Muna Q Bantul, peneliti melakukan analisis kebutuhan melalui wawancara dengan guru fisika. Berdasarkan hasil wawancara, peserta didik masih mengalami kesulitan dalam memahami materi gelombang mekanik, terutama pada konsep yang berkaitan dengan karakteristik gelombang transversal dan longitudinal serta hubungan antarbesaran gelombang. Guru juga menyampaikan bahwa proses pembelajaran masih didominasi oleh penggunaan buku teks, gambar dua dimensi, dan penjelasan verbal sehingga peserta didik belum memperoleh visualisasi yang memadai terhadap fenomena gelombang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa media pembelajaran yang digunakan belum sepenuhnya mendukung peserta didik dalam membangun representasi spasial yang diperlukan untuk memahami konsep gelombang mekanik.

Dari sudut pandang peserta didik, mempelajari materi gelombang mekanik tidak hanya menuntut penguasaan konsep dan persamaan matematis, tetapi juga kemampuan membangun representasi mental terhadap bentuk gelombang, arah rambat, arah getar partikel, serta hubungan antarbesaran gelombang. Dalam proses pembelajaran, peserta didik perlu mentransformasikan representasi dua dimensi yang disajikan melalui buku atau media pembelajaran menjadi gambaran tiga dimensi agar fenomena gelombang dapat dipahami secara utuh. Proses tersebut memerlukan kemampuan spasial sehingga penyajian konsep yang hanya bersifat verbal atau menggunakan gambar statis sering kali belum mampu membantu peserta didik memahami karakteristik gelombang secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang mampu menyajikan representasi spasial secara konkret dan interaktif untuk mendukung peserta didik dalam membangun pemahaman konsep gelombang mekanik.

Berdasarkan kondisiuraian tersebut, dapat dipahami bahwa kesulitan peserta didik dalam mempelajari memahami gelombang mekanik tidak hanya dipengaruhi oleh kompleksitas materi berkaitan dengan penguasaan konsep, tetapi juga oleh keterbatasan media pembelajaran dengan kemampuan membangun representasi spasial. Oleh karena itu, dalam penelitian ini peningkatan pemahaman konsep dipandang sebagai proses yang berlangsung melalui pemanfaatan kemampuan spasial sehingga digunakan istilah pemahaman konsep berbasis spasial. Media pembelajaran konvensional umumnya masih menyajikan konsep melalui teks, gambar statis, dan penjelasan verbal sehingga belum mampu memfasilitasi peserta didik dalam membangun representasi spasial secara optimal. Akibatnya, peserta didik perlu membayangkan sendiri bentuk gelombang, arah getar partikel, arah rambat gelombang, serta hubungan antar besaran gelombang yang bersifat dinamis. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya media pembelajaran yang mampu menyajikan visualisasi secara lebih konkret, interaktif, dan mudah dipahami agar peserta didik dapat membangun pemahaman konsep secara lebih utuh.

Salah satu teknologi yang berpotensi menjawab kebutuhan tersebut adalah *Augmented Reality* (AR). Teknologi ini mampu mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata sehingga peserta didik dapat mengamati dan berinteraksi dengan representasi konsep secara lebih konkret. Khalid (2021) menyatakan bahwa AR memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dibandingkan pembelajaran konvensional karena memungkinkan peserta didik memvisualisasikan objek yang sulit diamati secara langsung. Hasil penelitian Alimuddin dkk. (2023) menyatakan bahwa AR memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dibandingkan pembelajaran konvensional karena memungkinkan peserta didik memvisualisasikan objek yang sulit diamati secara langsung. Hasil penelitian Alimuddin dkk. (2023) dan İbili dkk. (2020) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan AR dapat mendukung visualisasi konsep abstrak, membantu

peserta didik membangun representasi spasial, serta mengurangi terjadinya miskonsepsi. Dengan karakteristik tersebut, AR memiliki potensi untuk diimplementasikan sebagai bagian dari aplikasi pembelajaran pada materi gelombang mekanik guna mendukung peserta didik dalam memahami konsep yang bersifat abstrak.

Di sisi lain, Zaini & Marsigit (2014) menemukan bahwa pendekatan pembelajaran konvensional tidak efektif dalam kemampuan penalaran dan kemampuan matematik peserta didik. Jafar (2021), mengatakan bahwa pengaruh pendekatan konvensional pada peningkatan hasil belajar sangat rendah, karena belum memfasilitasi kemampuan visualisasi dan eksplorasi konsep secara mendalam. Hasil ini konsisten dengan kondisi yang peneliti temukan di MA Tahfidz El-Muna Q Bantul, di mana sebagian besar peserta didik masih mengalami kesulitan dalam membedakan gelombang transversal dan longitudinal serta membayangkan bentuk gelombang dalam ruang 3D. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada konteksnya, jika penelitian terdahulu menyoroti efektivitas pendekatan umum, studi ini secara spesifik menekankan pada kebutuhan media yang mendukung kemampuan spasial dalam konteks gelombang mekanik.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi *Augmented Reality* Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran fisika mampu meningkatkan visualisasi konsep abstrak dan hasil belajar peserta didik. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengembangan media berbasis AR sebagai sarana visualisasi konsep atau pengujian pengaruhnya terhadap peningkatan hasil belajar. Penelitian yang secara khusus mengembangkan aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* yang umum. Selain itu, media yang dikembangkan umumnya hanya menyajikan visualisasi objek tanpa mengintegrasikan materi, visualisasi pembelajaran, simulasi interaktif, dan evaluasi pembelajaran untuk memfasilitasi dalam satu aplikasi pembelajaran. Di sisi lain, penelitian yang

secara khusus mengembangkan media pembelajaran berbasis AR untuk meningkatkan pemahaman konsep berbasis spasial pada materi gelombang mekanik masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* yang mengintegrasikan ketiga komponen tersebut dalam satu media pembelajaran. Padahal, karakteristik materi gelombang mekanik tidak hanya menuntut penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan peserta didik dalam membangun representasi mental, melakukan transformasi spasial, memahami perubahan objek secara dinamis, serta menghubungkan berbagai bentuk representasi konsep.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa AR efektif digunakan dalam pembelajaran fisika, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan media berbasis AR sebagai sarana visualisasi konsep atau menguji pengaruhnya terhadap hasil belajar secara umum. Selain itu, media yang dikembangkan umumnya hanya menyajikan visualisasi objek tanpa mengintegrasikan materi pembelajaran, simulasi interaktif, dan evaluasi dalam satu aplikasi. Padahal, materi gelombang mekanik memerlukan media yang tidak hanya mampu memvisualisasikan fenomena secara konkret, tetapi juga memfasilitasi peserta didik membangun pemahaman konsep berbasis spasial melalui berbagai aktivitas belajar yang saling terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis AR yang mengintegrasikan materi, simulasi interaktif, dan evaluasi untuk memfasilitasi pemahaman konsep berbasis spasial pada materi gelombang mekanik masih diperlukan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis AR yang mengintegrasikan materi pembelajaran, simulasi interaktif, dan evaluasi dalam satu aplikasi berbasis Android. Aplikasi yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi, tetapi juga memungkinkan peserta didik

mengeksplorasi karakteristik gelombang melalui perubahan parameter amplitudo, frekuensi, dan panjang gelombang secara langsung. Selain itu, efektivitas media dievaluasi berdasarkan indikator pemahaman konsep berbasis spasial yang meliputi transformasi spasial, penalaran spasial dinamis, visualisasi spasial, dan kemampuan multi-representasi.

Berdasarkan uraian tersebut, pembelajaran gelombang mekanik memerlukan media yang mampu menyajikan representasi spasial secara konkret dan interaktif sehingga peserta didik dapat membangun pemahaman konsep secara lebih utuh. Aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* dipandang memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan tersebut karena mampu menghadirkan visualisasi tiga dimensi yang memungkinkan peserta didik mengamati fenomena gelombang secara lebih nyata, berinteraksi dengan objek pembelajaran, serta menghubungkan berbagai representasi konsep dalam satu media. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* pada materi gelombang mekanik untuk memfasilitasi meningkatkan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik.

B. Identifikasi Masalah

1. Proses pembelajaran fisika pada materi gelombang masih didominasi oleh metode ceramah dan penggunaan buku teks, sementara pemanfaatan laboratorium maupun media pembelajaran interaktif masih terbatas.
2. Sebagian peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami konsep dasar gelombang mekanik, khususnya memvisualisasikan bentuk gelombang dalam ruang tiga dimensi, membedakan arah rambat, membedakan karakteristik gelombang transversal dan longitudinal, serta memahami hubungan antarbesaran gelombang.
3. Media pembelajaran konvensional yang digunakan, seperti penjelasan verbal, buku teks, maupun video, belum mampu memfasilitasi peserta didik

dalam memvisualisasikan konsep gelombang yang bersifat abstrak dan dinamis.

4. Peserta didik masih mengalami kesulitan dalam membangun representasi mental dan memahami konsep gelombang mekanik yang memerlukan kemampuan visualisasi dan representasi spasial.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang didapatkan, maka penelitian ini dibatasi pada pengembangan media pembelajaran berbasis *augmented reality* interaktif pada materi gelombang mekanik, khususnya gelombang transversal dan longitudinal di kelas XI IPA MA Tahfidz El-Muna Q Bantul. Penelitian ini hanya difokuskan pada pengukuran pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik dalam memahami konsep gelombang mekanik, tidak mencakup keseluruhan ranah kognitif, afektif, maupun psikomotor.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kualitas aplikasi pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik yang dikembangkan?
2. Bagaimana peningkatan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik setelah menggunakan aplikasi pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik?

E. Tujuan Penelitian

1. Untuk mendeskripsikan kualitas aplikasi pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik hasil pengembangan peneliti.
2. Untuk menganalisis peningkatan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik setelah menggunakan media pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik.

F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) pada materi gelombang mekanik yang dapat dijalankan pada perangkat bergerak (*smartphone*) dengan sistem operasi Android. Aplikasi dirancang sebagai media pembelajaran interaktif yang mengintegrasikan penyajian materi, visualisasi tiga dimensi berbasis AR, dan evaluasi pembelajaran dalam satu aplikasi.

Spesifikasi aplikasi yang dikembangkan adalah sebagai berikut.

1. Aplikasi dapat dijalankan pada perangkat dengan sistem operasi Android dan digunakan secara offline setelah proses instalasi selesai.
2. Aplikasi mengintegrasikan materi gelombang mekanik dengan teknologi AR sehingga peserta didik dapat mempelajari konsep melalui visualisasi objek tiga dimensi secara interaktif.
3. Aplikasi terdiri atas beberapa menu utama, yaitu:
 - a. Petunjuk penggunaan
 - b. Kompetensi pembelajaran
 - c. Inti materi
 - d. Materi gelombang mekanik
 - e. Latihan soal
 - f. Rangkuman
4. Fitur pemindaian (*scan*) *marker* untuk menjalankan simulasi AR gelombang transversal dan gelombang longitudinal.
5. Menu navigasi yang memuat profil pengembang, profil pembimbing, tujuan pengembangan, dan tombol keluar aplikasi.
6. Simulasi AR bersifat interaktif sehingga pengguna dapat memanipulasi beberapa parameter gelombang, yaitu amplitudo, panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan gelombang. Perubahan parameter tersebut ditampilkan secara langsung pada visualisasi gelombang sehingga membantu peserta didik memahami hubungan antarbesaran gelombang.

7. Visualisasi AR dilengkapi informasi mengenai amplitudo dan panjang gelombang sebagai pendukung pemahaman konsep.
8. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity 6000.0.37f1 dengan dukungan Vuforia Engine sebagai *Software Development Kit* (SDK) untuk implementasi teknologi AR. Desain antarmuka (*user interface*) aplikasi dibuat menggunakan Canva.

G. Manfaat Penelitian

1. Bagi Peserta Didik

Membantu meningkatkan pemahaman konsep berbasis spasial pada materi gelombang mekanik melalui visualisasi yang lebih konkret, interaktif, dan menarik.

2. Bagi Guru

Menjadi alternatif media pembelajaran inovatif yang dapat digunakan untuk memfasilitasi penyampaian materi fisika, mengurangi miskonsepsi peserta didik, serta mendorong pembelajaran berbasis *student-centered learning*.

3. Bagi Sekolah

Memberikan kontribusi dalam peningkatan mutu pembelajaran dengan memanfaatkan teknologi digital, serta menjadi model pengembangan media pembelajaran berbasis AR untuk mata pelajaran lain.

H. Keterbatasan Pengembangan

Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan atau dikenal dengan *Research and Development* (R&D). Media pembelajaran fisika berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik dikembangkan menggunakan model pengembangan ADDIE yang dikemukakan oleh Robert Maribe Branch. Model ini terdiri dari 5 tahap yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Namun, penelitian ini memiliki beberapa batasan. Pertama, pengembangan media pembelajaran berbasis AR

dalam penelitian ini dibatasi pada materi gelombang mekanik, yaitu gelombang transversal dan longitudinal, sehingga belum mencakup keseluruhan kompetensi pada topik gelombang. Kedua, tahapan pengembangan dalam penelitian ini dilaksanakan sampai pada tahap *Implementation*, yaitu melalui uji coba produk pada satu kelas untuk memperoleh gambaran awal efektivitas media. Evaluasi yang dilakukan berupa *posttest* pada satu kelas termasuk dalam *formative evaluation*, sehingga belum dapat dikategorikan sebagai *summative evaluation* yang biasanya dilakukan pada cakupan lebih luas dan dalam jangka waktu lebih panjang. Media pembelajaran yang dikembangkan juga dibatasi pada perangkat berbasis sistem operasi Android, sehingga belum dapat diimplementasikan pada platform lain seperti iOS atau WebAR.

I. Definisi Istilah

1. Media Pembelajaran

Media pembelajaran adalah segala bentuk sarana atau perantara yang digunakan untuk menyampaikan pesan, informasi, atau materi pelajaran dari guru kepada peserta didik sehingga dapat merangsang pikiran, perhatian, minat, dan motivasi belajar peserta didik.

2. Augmented Reality (AR)

Augmented reality adalah teknologi yang menggabungkan objek virtual (teks, gambar, animasi, dan model 3D) dengan dunia nyata secara *real-time* melalui perangkat digital, sehingga pengguna dapat berinteraksi langsung dengan objek tersebut seolah-olah hadir di lingkungannya.

3. Marker

Marker adalah penanda visual berupa gambar atau pola yang dicetak, digunakan dalam aplikasi *augmented reality* agar kamera perangkat dapat mengenali dan menampilkan objek 3D sesuai dengan desain.

4. Pemahaman Konsep Berbasis Spasial

Pemahaman konsep berbasis spasial adalah kemampuan peserta didik dalam memahami konsep fisika melalui proses membangun, memanipulasi, dan menghubungkan representasi visual secara mental. Dalam penelitian ini, pemahaman konsep berbasis spasial meliputi visualisasi spasial, transformasi spasial, penalaran spasial dinamis, dan kemampuan multi-representasi untuk memahami fenomena gelombang mekanik secara lebih utuh.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Kualitas media pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik untuk meningkatkan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik termasuk dalam kategori “Sangat Baik” dengan rata-rata skor keseluruhan sebesar 3,62. Hasil penilaian oleh dua ahli materi dan dua ahli media menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan pada setiap aspek penilaian, yaitu aspek relevansi media sebesar 3,81, keakuratan sebesar 3,50, interaktivitas sebesar 3,75, kemudahan penggunaan sebesar 3,80, estetika sebesar 3,55, karakteristik AR sebesar 3,50, serta dukungan terhadap pemahaman konsep berbasis spasial sebesar 3,45. Dengan demikian, media yang dikembangkan dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika pada materi gelombang mekanik.
2. Penggunaan media pembelajaran interaktif berbasis *augmented reality* pada materi gelombang mekanik mampu memfasilitasi pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik. Hal tersebut ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata nilai peserta didik dari 54,17 pada *pretest* menjadi 95,83 pada *posttest* dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,91 yang termasuk dalam kategori tinggi. Peningkatan terjadi pada seluruh indikator kemampuan spasial, yaitu visualisasi spasial, transformasi spasial, penalaran spasial dinamis, dan kemampuan multi-representasi. Visualisasi tiga dimensi serta interaktivitas yang dimiliki media *augmented reality* membantu peserta didik membangun representasi mental, melakukan manipulasi objek secara mental, memprediksi perubahan sistem secara dinamis, serta menghubungkan berbagai bentuk representasi sehingga mendukung

terbentuknya pemahaman konsep berbasis spasial yang lebih mendalam pada materi gelombang mekanik.

B. Saran

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi perhatian dalam pengembangan penelitian selanjutnya. Aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality*AR yang dikembangkan masih terbatas pada materi gelombang mekanik, khususnya gelombang transversal dan longitudinal, serta implementasinya hanya dilakukan pada uji coba terbatas di kelas XI MA Tahfidz El-Muna Q Bantul. Selain itu, penelitian ini menggunakan desain *One Group Pretest–Posttest Design* tanpa melibatkan kelompok kontrol, sehingga perubahan pemahaman konsep berbasis spasial peserta didik setelah menggunakan aplikasi belum dapat dibandingkan secara langsung dengan penggunaan media atau metode pembelajaran lainnya. Evaluasi yang dilakukan juga masih berupa evaluasi formatif melalui validasi ahli, revisi produk, dan uji coba terbatas, sehingga kualitas aplikasi pada implementasi yang lebih luas belum dapat dievaluasi secara menyeluruh.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk melaksanakan evaluasi sumatif melalui implementasi pada cakupan yang lebih luas dengan melibatkan peserta didik dari berbagai karakteristik sekolah serta menggunakan kelompok kontrol agar hasil penggunaan aplikasi dapat dibandingkan secara lebih objektif. Pengembangan aplikasi juga diharapkan dapat menyempurnakan fitur visualisasi, seperti penambahan visualisasi arah rambat dan arah getar partikel secara lebih jelas, pengembangan model gelombang tiga dimensi yang lebih representatif, serta penyempurnaan fitur interaktif agar pengalaman belajar peserta didik menjadi lebih optimal. Selain itu, pengembangan aplikasi pembelajaran berbasis *Augmented Reality*AR pada materi fisika lain yang memiliki karakteristik abstrak juga perlu dilakukan

sehingga pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* AR dalam pembelajaran fisika dapat semakin luas.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). *Fisika Dasar 2*. Institut Teknologi Bandung Press.
- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142.
<https://doi.org/10.1177/0013164485451012>
- Ainsworth, S. (2006). DeFT : A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Article, O. (2018). *Examining Student Perception on Mobile Augmented Reality*. 35(1), 2–12.
- Hugo, C., Martin-gutierrez, J., Anci, L. V., & Luis, C. E. M. (2020). *SS symmetry International Comparative Pilot Study of Spatial Skill Development in Engineering Students through Autonomous Augmented Reality-Based Training*.
- Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (2001). *Multimedia for learning: Methods and development*. Allyn & Bacon.
- Ali, M. R. M., Nuraeni, N., & Kuswanto, H. (2024). Tinjauan literatur sistematis: Penggunaan teknologi augmented reality (AR) pada pembelajaran fisika. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika*, 9(1), 8–16.
- Alimuddin, A., Juntak, J. N. S., Jusnita, A. E. R., Murniawaty, I., & Wono, H. Y. (2023). Teknologi dalam pendidikan: Membantu siswa beradaptasi dengan revolusi industri 4.0. *Journal on Education*, 5(4), 36–38.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.

- Ansyah, T. A., Kusairi, S., Supriana, E., & Ibad, M. I. (2021). Profil miskonsepsi siswa SMA pada materi gelombang mekanik. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 6(10), 1551–1559. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v6i10.15049>
- Arsyad, A. (2014). *Media pembelajaran*. Rajawali Pers.
- Association for Educational Communications and Technology. (1977). *The definition of educational technology*. AECT.
- Atit, K., Shipley, T. F., & Tikoff, B. (2013). Twisting space : are rigid and non-rigid mental transformations separate spatial skills ? *Cognitive Processing*, 14(2), 163–173. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0550-8>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Bangga-Modesto, D. (2024). Examining student perception on mobile augmented reality integration, gender differences, learning styles, feedback, challenges, and opportunities in an online physics class. *Science Education International*, 35(1), 2–12. <https://doi.org/10.33828/sei.v35.i1.1>
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: Handbook I. Cognitive domain*. Longmans, Green and Co.
- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications.
- Daryanto, J., Karsono, & Matsuri. (2016). Pengembangan Media Pembelajaran Tembang Macapat Berbasis Video Interaktif. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 3(2), 59–65.
- Dito, S. B., & Pujiastuti, H. (2021). Dampak revolusi industri 4.0 pada sektor

- pendidikan: Kajian literatur mengenai digital learning pada pendidikan dasar dan menengah. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 4(2), 59–65. <https://doi.org/10.24246/juses.v4i2p59-65>
- Fadhiel, M. Al, & Mufit, F. (2024). Learning media on high school physics material. *Journal of Innovative Physics Teaching*, 2(1), 71–77.
- Fitrianti, E., Annur, S., & Afriantoni. (2024). Revolusi industri 4.0: Inovasi dan tantangan dalam pendidikan di Indonesia. *Journal of Education and Culture*, 4(1), 28–34.
- Gerlach, V. S., & Ely, D. P. (1971). *Teaching and media: A systematic approach*. Prentice-Hall.
- Gilbert, J. K. (2005). *Visualization in science education*. Springer.
- Gómez-Tone, H. C., Martín-Gutiérrez, J., Anci, L. V., & Luis, C. E. M. (2020). International comparative pilot study of spatial skill development in engineering students through autonomous augmented reality-based training. *Symmetry*, 12(9), 1401. <https://doi.org/10.3390/sym12091401>
- Guci, P. T., & Siregar, B. H. (2024). Integrating scientific approaches in digital learning materials to improve spatial abilities in cube geometry: A research and development. *International Journal of Educational Research Excellence (IJERE)*, 3(2), 767–775. <https://doi.org/10.55299/ijere.v3i2.1118>
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. In *American Educational Research Association*. American Educational Research Association.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In A. Shah, P.; Miyake (Ed.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121–169). Cambridge University Press.
- Heinich, R., Molenda, M., Russell, J. D., & Smaldino, S. E. (2011). *Instructional media and technologies for learning* (10th ed.). Pearson.
- Hidayat, Y., & Mawardi, A. C. (2025). Augmented reality (AR) sebagai Media interaktif dalam pembelajaran Bahasa arab di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. *Mahira: Journal of Arabic Studies and Teaching*, 3(2), 113–123.

<https://doi.org/10.14421/mahira.2025.32.04>

- Hodgkiss, A., Thomas, M. S. C., Tolmie, A. K., & Farran, E. K. (2025). Associations between spatial skills and physics knowledge in primary school: Spatial skills are more important for conceptual scientific knowledge than for factual scientific knowledge. *Journal of Experimental Child Psychology*, 252, 106135. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2024.106135>
- İbili, E., Çat, M., Resnyansky, D., Şahin, S., & Billinghamurst, M. (2020). An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(2), 224–246.
- Jafar, A. F. (2021). Penerapan metode pembelajaran konvensional terhadap hasil belajar fisika peserta didik. *Al Asma : Journal of Islamic Education*, 3(2), 190–198. <https://doi.org/10.24252/asma.v3i2.23748>
- Jumadin, L., Hidayat, A., & Sutopo, S. (2017). Perlunya pembelajaran modelling instruction pada materi gelombang. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 2(2), 325–330.
- Kennedy, C. A., & de Bruyn, J. R. (2011). Understanding wave motion. *The Physics Teacher*, 49(6), 364–367. <https://doi.org/10.1119/1.3617429>
- Kennedy, E. M., & de Bruyn, J. R. (2011). Understanding of mechanical waves among second-year physics majors. *Canadian Journal of Physics*, 89(11), 1155–1161.
- Khalid, N. (2021). Penerapan Augmented Reality dalam Media Pembelajaran. *Jurnal Sistem Informasi, J-SIKA*, 3(1), 1–6.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31(4), 549–579. <https://doi.org/10.1080/03640210701380297>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Majeed, B. H. (2022). Effect of augmented reality technology on spatial intelligence

- among high school students. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 17(24), 131–143.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Sage Publications.
- Munir. (2012). *Multimedia: Konsep & aplikasi dalam pendidikan*. Alfabeta.
- Narpila, S. D. (2018). The application of inquiry-based learning to improve students' spatial capability in SMA YPK Medan. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 7(2), 154–160. <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v7i2.11682>
- Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. In J. S. Gero (Ed.), *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179–192). Springer Netherlands.
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Routledge.
- Nurlaela, A., Farizi, T. Al, & Pertiwi, M. O. (2020). The feasibility and effectiveness of Android-based augmented reality learning media on mechanical wave material. *Proceedings of the International Conference on Education, Management and Computer Science (ICEMS 2019)*. <https://doi.org/10.4108/eai.30-9-2019.2291126>
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 45(3), 255–287. <https://doi.org/10.1037/h0084295>
- Pierce, J. B., Harned, M. A., & Parks, L. H. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects abstract . The time required to recognize that two perspective drawings portray. *Science*, 171(3972), 701–703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>
- Putranta, H. (2019). Development of physics-tier tests (PysTT) to measure students' conceptual understanding and creative thinking skills: A qualitative synthesis. *Journal for the Education of Gifted Young*, 7(3), 747–775.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic

- review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147(December 2019), 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Radjawane, M. M., Tinambunan, A., & Jono, S. (2022). *Fisika untuk SMA/MA Kelas XI*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Reeves, T. C. (2005). Design-based research and the increasing collaboration between researchers and practitioners in technology-enhanced learning. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Designing for change in networked learning environments* (pp. 16–30). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3246-7_2
- Sadiman, A. S., Rahardjo, R., Haryono, A., & Rahardjito. (2014). *Media pendidikan: Pengertian, pengembangan, dan pemanfaatannya*. Rajawali Pers.
- Sebastian, R., & Kuswanto, H. (2024). Implementation of augmented reality media in physics learning to develop students' cognitive abilities: A systematic literature review. *International Journal on Studies in Education (IJonSE)*, 6(3), 327–344.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2004). *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). Thomson Brooks/Cole.
- Sidik, R. M., Wiliyanti, V., & Gunawan, I. (2024). Augmented reality-based physics learning media to improve students' motivation and learning outcomes: A systematic literature review. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 12(2), 129–146. <https://doi.org/10.23960/jpf.v12.n2.202405>
- Sudjana, N., & Rivai, A. (2010). *Media pengajaran*. Sinar Baru Algensindo.
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sutopo, S. (2016). Students' understanding of fundamental concepts of mechanical wave. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(1), 41–53.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. <https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202>
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic

- and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
<https://doi.org/10.1080/0950069032000070306>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402.
<https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. N., & Redish, E. F. (2002). Making sense of how students make sense of mechanical waves. In *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/physics/0207092>
- Wu, H.-K., Lin, Y.-F., & Hsu, Y.-S. (2013). Effects of representation sequences and spatial ability on students' scientific understandings about the mechanism of breathing. *Instructional Science*, 41(3), 555–573.
- Yanti, A. R., & Mawardi, A. C. (2023). The development of electronic-based student worksheets to facilitate the critical thinking skills of tenth graders. *IMPULSE: Journal of Research and Innovation in Physics Education*, 3(1), 31–38.
<https://doi.org/10.14421/impulse.2023.31-04>
- Zaini, A., & Marsigit, M. (2014). Perbandingan keefektifan pembelajaran matematika dengan pendekatan matematika realistik dan konvensional ditinjau dari kemampuan penalaran dan komunikasi matematik siswa. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 1(2), 152–163. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v1i2.2672>