

**PENGEMBANGAN BAHAN AJAR FISIKA BERBANTUAN  
*AUGMENTED REALITY* DENGAN MODEL *PROBLEM  
BASED LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi syarat guna Memperoleh  
Gelar Sarjana Pendidikan Dalam Ilmu Pendidikan Fisika



Oleh:

**Muhammad Arifin Ilham**

NIM : 2008066044

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
SEMARANG  
2024**

**PENGEMBANGAN BAHAN AJAR FISIKA BERBANTUAN  
*AUGMENTED REALITY* DENGAN MODEL *PROBLEM  
BASED LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

SKRIPSI

Oleh:

**Muhammad Arifin Ilham**

NIM : 2008066044

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
SEMARANG  
2024**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Arifin Ilham

NIM : 2008066044

Progam Studi : Pendidikan Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**“PENGEMBANGAN BAHAN AJAR FISIKA BERBANTUAN  
AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM  
BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK”**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,  
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 10 Desember 2024

Demi buat Pernyataan,  
  
Muhammad Arifin Ilham  
NIM. 2008066044  
NIM. 2008066044



PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbantuan  
*Augmented Reality* dengan Model *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

Penulis : Muhammad Arifin Ilham

NIM : 2008066044

Jurusan : Pendidikan Fisika

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Pendidikan Fisika.


Semarang, 17 Desember 2024


DEWAN PENGUJI


Ketua Sidang


Sekretaris Sidang

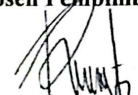
  
Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M. Sc.  
NIP. 197703202009121002  
Penguji Utama I

  
Affa Ardhi Saputri, M. Pd.  
NIP. 199004102019032018  
Penguji Utama II

  
Edi Daenuri Anwar, M. Si.  
NIP. 197907262009121002  
Dosen Pembimbing I

  
Arsini, M. Sc.  
NIP. 198408122011012011  
Dosen Pembimbing II

  
Affa Ardhi Saputri, M. Pd.  
NIP. 199004102019032018

  
Fachrizal Rian Pratama, M. Sc.  
NIP. 198906262019031012

## NOTA DINAS

Semarang, 10 Desember 2024

Yth. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbantuan  
*Augmented Reality* dengan Model *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

Nama : Muhammad Arifin Ilham

NIM : 2008066044

Program Studi : Pendidikan Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang munaqosah.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Pembimbing I,



**Affa Ardhi Saputri, M. Pd.**

**NIP. 199004102019032018**

## NOTA DINAS

Semarang, 10 Desember 2024

Yth. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Walisongo Semarang

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbantuan  
*Augmented Reality* dengan Model *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

Nama : Muhammad Arifin Ilham

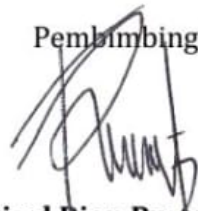
NIM : 2008066044

Program Studi : Pendidikan Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang munaqosah.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Pembimbing II,



**Fachrizal Rian Pratama, M. Sc.**

NIP. 198906262019031012

## LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya peneliti ini dipersembahkan untuk orang-orang tercinta, keluarga, teman-teman, dan orang-orang baik yang berada di sekeliling peneliti, terutama bagi:

1. Teristimewa kedua orang tua Bapak Kusnadi dan Ibu Siti Saroh, karena doa dan ridhonya beliau, peneliti dapat mencapai di titik ini. Orang tua yang selalu mendukung segala cita-cita peneliti, tidak pernah sedikitpun melarang dan selalu memberi kepercayaan penuh kepada peneliti. Semoga Allah senantiasa melindungi, memberikan rahmat, dan membalas kebaikan beliau.
2. Adek tersayang Rizki Naditia yang selalu membantu mendoakan dan dukungan penuh bagi peneliti.
3. Orang-orang yang sudah saya dianggap saudara sendiri yang baru ditemui di Semarang, khususnya Keluarga Perumahan Beringin Forest Park tercinta yang selalu memberikan *support system* bagi peneliti.
4. Sahabat dan teman baik di Semarang, terima kasih karena mereka peneliti masih merasakan kehangatan dan kebahagiaan serta kekeluargaan yang mereka tuangkan kepada peneliti.

## **MOTTO**

“Jika kamu merasa sudah cukup dalam menuntut ilmu, maka kamu  
adalah orang bodoh”

“Hidup seperti bunga teratai, bunga itu tetap indah meskipun  
berada di tengah air yang keruh”

## TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor : 158/1987 dan Nomor : 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	t}
ب	B	ظ	z}
ت	T	ع	'
ث	s\	غ	g
ج	J	ف	f
ح	h}	ق	q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	z\	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	ه	H
ش	Sy	ء	'
ص	s}	ي	Y
ض	d}		

### Bacaan Madd:

a > = a panjang

i > = i panjang

u > = u panjang

### Bacaan Diftong:

au = او

ai = اي

iy = اي

## ABSTRAK

Peran bahan ajar dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik sangatlah penting. Kurangnya pemanfaatan bahan ajar dalam pembelajaran di MA NU Al Hikmah Semarang menyebabkan peserta didik kehilangan pemahaman dan keaktifan dalam belajar fisika, yang berdampak pada rendahnya keterampilan berpikir kritis peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan dan keefektifan serta respon dari pengembangan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* dengan menggunakan model pengembangan *ADDIE*. Bahan ajar ini dikembangkan menggunakan bantuan aplikasi Assemblr Edu untuk merealisasikan *AR* yang terdapat pada bahan ajar. Teknik pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini ialah teknik *purposive sampling* dengan sampel penelitian sebanyak 29 peserta didik yaitu peserta didik kelas XI.2 MA NU Al Hikmah Semarang. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan observasi, wawancara, lembar validasi ahli, angket respons peserta didik, serta tes keterampilan berpikir kritis peserta didik. Berdasarkan penelitian, hasil validasi ahli materi memperoleh persentase nilai sebesar 90% dan hasil validasi ahli media memperoleh persentase sebesar 87,5% dengan kategori sangat layak. Peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik diukur melalui perbandingan nilai *pre-test* dan *post-test* menggunakan uji *N-Gain* yang memperoleh skor 0,67 yang termasuk kategori “sedang”. Respons baik peserta didik terhadap bahan ajar sebagai penunjang dalam pembelajaran fisika memperoleh persentase secara keseluruhan sebesar 90,42% dengan kategori sangat baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* sangat valid dan layak digunakan sebagai bahan ajar fisika dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

**Kata Kunci :** Bahan ajar, Bahan ajar fisika, *Augmented Reality*, Model *Problem Based Learning*, Gelombang Bunyi, Keterampilan Berpikir Kritis

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* Rabbil 'Alamin, pertama puji syukur bagi Allah SWT, atas hidayah dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada Penulis, sehingga skripsi dengan judul “Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbantuan *Augmented Reality* dengan Model *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik” dapat terselesaikan dengan baik. Kedua, sholawat serta salam tak lupa kita haturkan kepada Nabi Agung Muhammad SAW yang senantiasa kita nantikan syafaatnya di Yaumul Qiyamah nanti.

Ucapan terima kasih juga utarakan penulis kepada orang tua, dosen, kyai, guru, dan sahabat yang tidak lepas dari bantuan, motivasi, dan doa dalam menyelesaikan karya ilmiah ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Nizar, M. Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
2. Prof. Dr. Musahadi, M. Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Edi Daenuri Anwar, M. Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika.
4. Affa Ardhi Saputri, M. Pd., selaku pembimbing 1 dan Fachrizal Rian Pratama, M. Sc., selaku pembimbing 2 yang telah berkenan meluangkan waktu, memberi masukan, mengarahkan

dan membimbing sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

5. Dr. Susilawati, M. Pd., selaku wali dosen sekaligus validator yang senantiasa memberikan nasihat, motivasi, dan meluangkan waktunya memberikan penilaian, arahan, saran untuk kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
6. Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd., Dr. Andi Fadlan, S. Si., M. Sc., Agus Sudarmanto, M. Si., selaku validator yang telah meluangkan waktunya, memberikan arahan, penilaian, masukan dan saran untuk kelayakan bahan ajar fisika yang dikembangkan.
7. Segenap dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah membantu dan menyalurkan ilmunya dengan ikhlas selama penulis menempuh perkuliahan.
8. Karyadi, S. Pd. I., S. Pd., selaku Kepala Sekolah MA NU Al Hikmah Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di sekolah naungan beliau.
9. Alfi Ristianti Oktafiani, S. Pd., selaku guru mata pelajaran fisika di MA NU Al Hikmah Semarang.
10. Kedua orang tua penulis yaitu bapak Kusnadi dan ibu Siti Saroh yang senantiasa memberikan dukungan baik dalam segi materi dan doa yang selalu dilantunkan beliau kepada penulis.

11. Riski Naditia yang selalu memberikan semangat dan doa untuk kelancaran dalam menempuh pendidikan yang sedang ditempuh oleh penulis.
12. Soib, Musyarofah, dan Lathifah yang telah menjadikan saya sosok pendirian yang kuat serta memberikan kasih sayang dan semangat layaknya seorang orang tua kepada anak beliau sendiri.
13. Segenap Keluarga Besar Perumahan Beringin Forest Park yang telah menerima untuk mengabdikan diri, menambah ilmu, dan menjadikan keluarga bagi peneliti.
14. Segenap Keluarga Besar KKN Reguler 81 Posko 11 Desa Karangtengah yang telah memberikan tinta kenangan yang tidak bisa terlupakan.
15. Segenap Keluarga Besar PLP 1 dan 2 di SMA Negeri 16 Semarang yang telah menemani selama melakukan pengalaman mengajar pertama kali.
16. Segenap Keluarga Besar Pendidikan Fisika yang telah memberikan kenangan dalam perkuliahan.
17. Segenap Keluarga Besar Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) yang telah memberikan ruang untuk berproses yang luar biasa.
18. Segenap Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Jurusan (HMJ) Fisika yang telah memberikan kesempatan pengabdian kepada peneliti.

19. Segenap Keluarga Besar Keluarga Mahasiswa Kudus Semarang (KMKS) yang telah memberikan wadah untuk mempererat tali persaudaraan di perantauan.
20. Segenap Keluarga Besar Lembaga Pers Mahasiswa (LPM) Frekuensi yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang bermanfaat bagi peneliti.
21. Sahabat penulis dan semua pihak, yang telah senantiasa kebersamai penulis dalam suka maupun duka. Tanpa mengurangi rasa hormat kepada sosok sahabat, yang kebersamai penulis dalam berproses di kota orang.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat, inayah, dan anugerah terindah yang tidak ada batasnya untuk kita semua. Penulis menyadari bahwa secercah pemikiran yang penulis susun masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memberi ruang kritik dan saran seluas-luasnya guna memperbaiki skripsi ini. Penulis berharap bahwa tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi untuk kemaslahatan pendidikan masa depan.

Semarang, 10 Desember 2024

Muhammad Arifin Ilham

NIM. 2008066044

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	II
PERNYATAAN KEASLIAN .....	III
PENGESAHAN .....	IV
NOTA DINAS .....	V
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	VII
MOTTO.....	VIII
TRANSLITERASI ARAB-LATIN .....	IX
ABSTRAK.....	X
KATA PENGANTAR .....	XII
DAFTAR ISI.....	XVI
DAFTAR TABEL.....	XVIII
DAFTAR GAMBAR .....	XIX
DAFTAR LAMPIRAN.....	XX
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah .....	6
C. Pembatasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	8
G. Spesifikasi Produk.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	10
A. Kajian Teori .....	10
B. Kajian Penelitian yang Relevan .....	38
C. Kerangka Berpikir.....	40

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>42</b>
<b>A. Model Pengembangan .....</b>	<b>42</b>
<b>B. Prosedur Pengembangan .....</b>	<b>43</b>
<b>C. Desain Uji Coba Produk .....</b>	<b>51</b>
<b>BAB IV.....</b>	<b>65</b>
<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>65</b>
<b>A. Hasil Pengembangan Produk Awal .....</b>	<b>65</b>
<b>B. Hasil Uji Coba Produk .....</b>	<b>77</b>
<b>C. Revisi Produk .....</b>	<b>85</b>
<b>D. Kajian Produk Akhir .....</b>	<b>103</b>
<b>E. Keterbatasan Penelitian .....</b>	<b>111</b>
<b>BAB V .....</b>	<b>112</b>
<b>SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>112</b>
<b>A. Simpulan.....</b>	<b>112</b>
<b>B. Saran .....</b>	<b>113</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>114</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>121</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>227</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sub-Indikator Keterampilan Berpikir Kritis .....	11
Tabel 2. 2 Hubungan Bahan Ajar dan Model Pembelajaran <i>Problem Based Learning</i> terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik .....	23
Tabel 3. 1. Kriteria Validitas Instrumen.....	55
Tabel 3. 2. Hasil Validasi Instrumen oleh Validator.....	55
Tabel 3. 3. Hasil Uji Validitas Soal Berpikir Kritis .....	57
Tabel 3. 4. Kriteria Alpha Cronbach.....	58
Tabel 3. 5. Hasil Reliabilitas Butir Soal.....	58
Tabel 3. 6. Klasifikasi Daya Pembeda .....	59
Tabel 3. 7. Hasil Uji Daya Beda .....	59
Tabel 3. 8. Kriteria Tingkat Kesukaran.....	60
Tabel 3. 9. Hasil Tingkat Kesukaran.....	60
Tabel 3. 10. Persentase Kelayakan.....	62
Tabel 3. 11 Kriteria Nilai Gain .....	63
Tabel 3. 12 Kriteria Respons Peserta Didik .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Pipa organa Terbuka. (a) Nada dasar. (b) Nada atas pertama .....	32
Gambar 2. 2. (a) Nada dasar pipa Organa tertutup (b)nada atas pertama atau pola harmonik kedua pipa organa tertutup.....	33
Gambar 2. 3. Penggunaan tanda (+) dan (-) pada Efek Doppler...	38
Gambar 2. 4. Kerangka Berpikir .....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1	Lembar Pengesahan Proposal	121
Lampiran 2	Hasil Wawancara	122
Lampiran 3	Surat Permohonan Validator Instrumen Tes, Ahli Media, dan Ahli Materi	125
Lampiran 4	Rubrik Penilaian Ahli Media	126
Lampiran 5	Rubrik Penilaian Ahli Materi	127
Lampiran 6	Rubrik Penilaian Respons Peserta Didik	130
Lampiran 7	Hasil Ahli Instrumen	135
Lampiran 8	Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 1)	138
Lampiran 9	Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 2)	144
Lampiran 10	Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 3)	149
Lampiran 11	Hasil Penilaian Ahli Materi Validator 1, 2, dan 3	154
Lampiran 12	Hasil Penilaian Ahli Media Validator 1, 2, dan 3	156
Lampiran 13	Hasil Respons Peserta Didik	157
Lampiran 14	Tampilan Bahan Ajar	160
Lampiran 15	Surat Permohonan Izin Riset	188
Lampiran 16	Analisis Validitas Butir Soal	189
Lampiran 17	Analisis Realibilitas Butir Soal	190
Lampiran 18	Analisis Daya Beda Butir Soal	191
Lampiran 19	Analisis Tingkat Kesukaran Soal	192
Lampiran 20	Nilai <i>Pre-test</i> dan <i>Post-Test</i>	193
Lampiran 21	Analisis Normalitas <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i>	195
Lampiran 22	Analisis <i>N-Gain</i>	196

Lampiran 23	Soal (Uji Coba Soal) Peserta Didik	197
Lampiran 24	Penskoran dan Kunci Jawaban (Soal Uji Coba)	200
Lampiran 25	Soal <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i>	209
Lampiran 26	Penskoran dan Kunci Jawaban <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i>	211
Lampiran 27	Lembar Jawaban <i>Pre-Test</i> Peserta Didik	216
Lampiran 28	Lembar Jawaban <i>Post-Test</i> Peserta Didik	217
Lampiran 29	Data Kelas XII MA NU Al Hikmah Semarang	219
Lampiran 30	Data Kelas XI.2 MA NU Al Hikmah Semarang	220
Lampiran 31	Nilai PTS Peserta Didik XI.2	221
Lampiran 32	Dokumentasi Foto	222
Lampiran 33	Surat Keterangan Penelitian	225
Lampiran 34	Hasil Turnitin	226

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Fisika merupakan mata pelajaran yang lebih menekankan pemahaman dibandingkan dengan penghafalan. Pembelajaran fisika berfokus pada pengertian dan pemahaman pada konsep yang didasari pada penemuan, penyajian data secara matematis, serta penerapan aturan-aturan tertentu dalam proses pembentukan pengetahuan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan dan aturan khusus dalam mempelajarinya (Depdiknas, 2003).

Kesulitan dalam pelajaran fisika disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut diantaranya adalah karakteristik materi fisika dan proses pembelajaran fisika (Samudra et al., 2014). Menurut Utiah & Paramata (2018) menyatakan bahwa pembelajaran fisika di sekolah hanya sebatas penyampaian materi dan menghafal rumus yang disampaikan oleh pendidik. Hal tersebut yang mengakibatkan peserta didik hanya dapat membayangkan ilmu fisika tanpa fenomena fisis secara langsung, sehingga ilmu fisika tereduksi menjadi bacaan. Jika fenomena fisis yang sedang dibahas pernah dialami langsung oleh peserta didik, maka peserta didik akan memiliki pemahaman yang lebih baik.

Pemahaman konsep erat kaitannya dengan kemampuan berpikir kritis. Hal tersebut karena terjadi indikator-indikator kemampuan berpikir kritis seperti membangun keterampilan dasar, membuat penjelasan, menyimpulkan, memberikan penjelasan sederhana, dan merancang strategi taktis dapat membentuk pemahaman konsep peserta didik terhadap mata pelajaran fisika (Suarti & Ramadhani, 2022).

Salah satu kompetensi pembelajaran fisika yang termuat dalam Permendikbud Nomor 21 Tahun 2016 tentang pengembangan keterampilan berpikir kritis melalui pembelajaran fisika. Hal tersebut mengindikasikan bahwa baik pembelajaran maupun asesmen dalam fisika perlu dititikberatkan pada pengembangan kemampuan berpikir kritis peserta didik (Kemendikbudristek, 2022).

Penerapan keterampilan berpikir kritis pada peserta didik menjadi salah satu upaya penting dalam proses pembelajaran. Keterampilan ini membantu peserta didik untuk menganalisis dan mengevaluasi berbagai permasalahan. Dengan demikian, kegiatan ini dapat mendukung terciptanya lulusan yang memiliki daya saing tinggi (Cahyani & Putri, 2019). Kemampuan berpikir kritis merujuk pada kemampuan untuk menarik kesimpulan dengan akurat, terstruktur, dan rasional, yang dapat menjadi pilihan dalam proses berpikir. (Arini & Juliadi, 2018). Menurut Ennis (2011) indikator berpikir kritis meliputi beberapa aspek,

yaitu fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen, mengamati dan mempertimbangkan kredibilitas sumber, menginvestigasi dan membuat kesimpulan, mengidentifikasi dan menalar dari asumsi maupun sumber, serta memperkirakan, dan menggabungkan.

Untuk membentuk keterampilan berpikir kritis diperlukan pelibatan dari berbagai aspek. Salah satu aspek tersebut adalah peran pendidik. Peran pendidik dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis peserta didik dalam pelajaran fisika dapat dilakukan melalui pemilihan model pembelajaran yang tepat. Model pembelajaran yang dipilih, harus memiliki sintaks yang berfokus pada peserta didik. Model yang dinilai dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis adalah *Problem Based Learning*. Hal ini sejalan dengan pendapat Farisi, dkk. (2017) yang menyatakan bahwa model pembelajaran *Problem Based Learning* memiliki karakter untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis.

Upaya lain untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis adalah penggunaan bahan ajar yang berorientasi pada kemampuan tersebut (Nurhikmayati & Jatisunda, 2019). Bahan ajar yang dikembangkan harus sesuai dengan kurikulum yang berlaku, memiliki hubungan dengan karakteristik peserta didik serta sesuai dengan perkembangan zaman.

Seiring berkembangnya teknologi saat ini, teknologi seluler berkembang sangat pesat. Salah satu perangkat seluler yang umum digunakan adalah telepon genggam. Kepemilikan telepon genggam tidak hanya digunakan oleh kalangan dewasa, tetapi juga digunakan oleh peserta didik. Semakin banyak peserta didik yang memiliki dan menggunakan perangkat seluler, maka semakin besar peluang dalam pembelajaran untuk menggunakan perangkat teknologi (Khotimah et al., 2019).

Pemanfaatan perangkat teknologi dalam pendidikan dapat berupa teknologi *Augmented Reality* dengan berbantuan aplikasi *Assemblr Edu*. *Assemblr Edu* adalah aplikasi yang memungkinkan tampilan animasi tiga dimensi secara langsung dengan bantuan kamera smartphone. Aplikasi ini memiliki berbagai kelebihan dalam menyajikan program *Augmented Reality*, seperti menyediakan video, animasi, dan audio, serta kemudahan penggunaan tanpa memerlukan pengetahuan pemrograman yang kompleks. Oleh karena itu, *Assemblr Edu* dapat diakses di mana saja dengan mudah. (Assemblr Edu, 2021).

Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* mampu memvisualisasikan konsep-konsep yang sulit dipahami, sehingga peserta didik dapat memahami lebih mudah (Assemblr Edu, 2021). Selain itu, bahan ajar dengan berbantuan *Augmented Reality* juga mampu dikolaborasi dengan model pembelajaran *Problem Based Learning* dalam menghadapi

tantangan atau masalah yang harus diselesaikan sebagai bentuk upaya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik (Huang et al., 2013).

Berdasarkan angket yang diberikan kepada peserta didik kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang, diperoleh hasil bahwa sebanyak 75,9% dari 29 peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami materi gelombang bunyi. Selain itu, hasil angket yang diberikan menunjukkan bahwa peserta didik berpendapat materi gelombang bunyi adalah salah satu materi fisika yang tergolong abstrak. Materi sulit dan banyaknya rumus yang harus dipahami juga menjadi faktor peserta didik dalam mempelajari materi sehingga mengandalkan materi yang diberikan guru. Semakin tinggi konsep pemahaman peserta didik, maka akan semakin tinggi pula keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Berdasarkan hasil wawancara terhadap pendidik fisika di MA NU Al Hikmah Semarang menyatakan bahwa peserta didik memiliki keterampilan berpikir kritis yang masih tergolong rendah (Ristianti, 2024). Hal tersebut dibuktikan dengan nilai PTS yang berindikator keterampilan berpikir kritis. Model pembelajaran yang diterapkan kepada peserta didik, hanya menggunakan metode ceramah dan diskusi. Selain itu, pemanfaatan media elektronik pada proses pembelajaran di kelas hanya sebatas pada penggunaan power point.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, perlunya bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Khususnya pada materi gelombang bunyi dengan menggunakan sintak model pembelajaran *Problem Based Learning*.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan latar belakang, masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mata pelajaran fisika masih dianggap sulit oleh peserta didik.
2. Keterampilan berpikir kritis peserta didik masih tergolong rendah.
3. Penggunaan bahan ajar yang cenderung masih memakai buku teks yang sulit dipahami.
4. Pemanfaatan media elektronik pada proses pembelajaran di kelas hanya sebatas pada penggunaan *power point*.

## **C. Pembatasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Materi yang dikembangkan dibatasi pada materi gelombang bunyi meliputi: pengertian gelombang bunyi, klasifikasi

gelombang bunyi, cepat rambat bunyi, dawai, pipa organa, intensitas bunyi, taraf intensitas bunyi, dan Efek Doppler.

2. Bahan ajar fisika yang dikembangkan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dibatasi indikator *Basic Clarification, Two Bases for a Decision, Inference, Advanced Clarification, Supposition and Integration.*

#### **D. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kelayakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan *Assemblr Edu* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik?
2. Bagaimana respons peserta didik setelah bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan *Assemblr Edu* diimplementasikan?
3. Bagaimana peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan *Assemblr Edu*?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan pengembangan ini adalah:

1. Menghasilkan produk bahan ajar fisika yang layak berbantuan *Augmented Reality* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

2. Menganalisis respons baik terkait bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan *Assemblr Edu* kepada peserta didik.
3. Menganalisis peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality*.

## **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang akan dilakukan di antaranya:

1. Sekolah

Hasil bahan ajar fisika yang dikembangkan mampu menambah ketersediaan bahan ajar yang ada di sekolah serta dapat digunakan selama proses pembelajaran.

2. Pendidik

Pengembangan bahan ajar fisika yang dibuat memudahkan pendidik menyampaikan materi.

3. Peserta didik

Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* memudahkan peserta didik memahami materi gelombang bunyi serta dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

## G. Spesifikasi Produk

Spesifikasi produk yang dikembangkan dalam bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* ini berisi materi gelombang bunyi yang bertujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Bahan ajar dikembangkan dengan aplikasi *Asssemblr Edu* untuk divisualisasikan secara 3D *Augmented reality*. Konten bahan ajar berisikan materi dan suatu kasus yang akan divisualisasikan secara nyata menggunakan aplikasi tersebut. Aplikasi tersebut juga memfasilitasi ruang untuk berdiskusi antar peserta didik sehingga dapat meningkatkan keterampilan peserta didik.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Keterampilan Berpikir kritis**

Berpikir adalah aktivitas yang melibatkan proses manipulasi dan perubahan informasi yang tersimpan dalam ingatan. Selama proses ini, kita dapat membentuk konsep, membuat pertimbangan, berpikir kritis, mengambil keputusan, berpikir kreatif, dan memecahkan masalah (Nafiah & Suyanto, 2014).

Menurut Ennis (2011) Berpikir kritis adalah proses berpikir yang logis dan reflektif, dengan fokus pada pengambilan keputusan mengenai apa yang harus dipercayai atau dilakukan. Keterampilan ini sangat penting, karena individu yang berpikir kritis mampu berpikir secara logis, menyelesaikan masalah dengan baik, dan membuat keputusan rasional terkait tindakan atau keyakinan yang diambil (R. H. Ennis, 1993).

Berpikir kritis adalah berpikir dengan logis dalam menilai sesuatu permasalahan. Sebelum mengambil suatu melakukan atau memutuskan suatu tindakan, maka perlu melakukan pengumpulan informasi dari berbagai sumber tentang sesuatu tersebut. Berpikir kritis dapat

dikembangkan dalam proses pembelajaran melalui strategi pembelajaran yang tepat. Kemampuan berpikir kritis juga dapat dilatih dengan mempersoalkan mengapa dan bagaimana terhadap hal-hal yang didengar dan dilihat.

Pada dasarnya kemampuan berpikir kritis berkaitan erat dengan proses berpikir kritis dan indikator-indikatornya. Adapun indikator keterampilan berpikir kritis menurut (R. Ennis, 2011) yaitu: (1) Klarifikasi Dasar, (2) Dua Dasar untuk Sebuah Keputusan, (3) Kesimpulan, (4) Klarifikasi Lanjutan, dan (5) Suposisi dan Integrasi. Adapun indikator dan sub indikator menurut Ennis (2011) pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sub-Indikator Keterampilan Berpikir Kritis

<b>Indikator</b>	<b>Sub Indikator</b>
<i>Basic Clarification</i>	Fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen
<i>Two Bases for a Decision</i>	Mengamati dan mempertimbangkan kredibilitas sumber
<i>Inference</i>	Menginvestigasi dan membuat kesimpulan
<i>Advanced Clarification</i>	Mengidentifikasi dan menalar dari asumsi
<i>Suposition and Integration</i>	Memperkirakan dan menggabungkan

Berikut adalah beberapa karakteristik utama dikutip dari Maria Sanders (2011) keterampilan berpikir kritis menurut Ennis 2011 antara lain:

- a. Kemampuan untuk mengajukan pertanyaan klarifikasi yang sesuai (*Basic Clarification*).
- b. Kemampuan untuk mengidentifikasi kesimpulan, alasan, dan asumsi (*Two bases for a Decision*).
- c. Kemampuan untuk menilai kualitas argumen, termasuk penerimaan alasan, asumsi, dan bukti (*Two bases for a Decision*).
- d. Kemampuan untuk membuat inferensi yang tepat dan logis (*Inference*).
- e. Kemampuan untuk merumuskan dan mempertahankan argumen secara kritis (*Advanced Clarification*).
- f. Kemampuan untuk menginterpretasikan dan mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber (*Suposition and Integration*).

## **2. Model *Problem Based Learning***

- a. Pengertian Model *Problem Based Learning*

Model Pembelajaran Berbasis Masalah (PBL) merupakan model pembelajaran dengan pendekatan pembelajaran yang melibatkan masalah nyata. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik untuk meningkatkan kemandirian diri, meningkatkan kepercayaan diri, meningkatkan keterampilan dan inkuiri mereka, dan menyusun pengetahuan mereka sendiri (Sanjaya, 2011).

Menerapkan suatu model pembelajaran terdapat beberapa langkah yang harus dipersiapkan, agar pembelajaran dapat berjalan dengan baik. Pembelajaran dengan model *Problem Based Learning* (PBL) diawali dengan mengidentifikasi suatu masalah dan diakhiri dengan mempertimbangkan akibat dan solusinya, memilih solusi yang paling layak (Sujana & Sopandi, 2020).

Karakteristik yang tercakup dalam PBL menurut Tan (2008) antara lain: (1) Awal dari pembelajaran menggunakan masalah; (2) biasanya masalah yang digunakan dalam pembelajaran merupakan masalah dunia nyata dan disajikan secara mengambang (*ill-structured*); (3) Masalah yang digunakan umumnya masalah yang menuntut perspektif majemuk (*multiple perspective*); (4) Menggunakan masalah dapat membuat peserta didik tertantang untuk mendapatkan pembelajaran di ranah yang baru; (5) Sangat mengutamakan belajar mandiri; (6) Memanfaatkan sumber pengetahuan yang bervariasi, tidak hanya dari satu sumber, dan (7) pembelajarannya kooperatif, kolaboratif, dan komunikatif. Karakteristik tersebut yang dapat menuntut peserta didik untuk menggunakan kemampuan berpikir tingkat tinggi,

terutama kemampuan dalam memecahkan masalah (Amir, 2016).

b. Sintaks

Adapun sintaks dari model pembelajaran ini menurut (Warsono et al., 2013) adalah sebagai berikut:

1) *Orientation*

Pada tahap orientasi, pendidik menjelaskan tujuan pembelajaran dan memberikan pengarahan terhadap suatu masalah kepada peserta didik. Selain itu, pendidik juga memberikan arahan aktivitas yang perlu dilakukan peserta didik.

2) *Organization*

Pada tahap ini, pendidik membentuk kelompok belajar yang dapat berupa kelompok kecil maupun besar, sehingga peserta didik dapat berkolaborasi dalam memecahkan masalah. Pembentukan kelompok mengacu pada prinsip pembelajaran kooperatif, yaitu dengan menciptakan kelompok yang heterogen, mendorong interaksi antar-anggota, memastikan komunikasi yang efektif, dan melibatkan tutor sebaya. Tahap organisasi bertujuan untuk mengatur peserta didik dalam proses belajar.

### 3) *Individual and Group Guiding*

Pada tahap pembimbingan individu dan kelompok ini, pendidik harus mendorong peserta didik untuk mengumpulkan informasi sebanyak mungkin dari berbagai sumber, sehingga peserta didik mampu menemukan hipotesis. Ketika pendidik melakukan bimbingan, pendidik diharapkan mengkritisi hipotesis yang sudah dirumuskan oleh peserta didik. Hal ini yang dapat menguji tentang kelayakan hipotesis dan solusi yang peserta didik buat, serta kualitas informasi yang dikumpulkan.

### 4) *Development*

Pada tahap ini, peserta didik menciptakan dan menyajikan artefak sebagai solusi atas masalah yang diberikan. Artefak merupakan hasil karya yang memiliki bentuk beragam dan tidak dibatasi. Wujud artefak dapat berupa laporan tertulis, rekaman video yang menggambarkan situasi masalah dan solusi yang diusulkan, model fisik dari situasi masalah dan pemecahannya, program komputer, atau sajian multimedia. Bentuk artefak yang dihasilkan bergantung pada tingkat kemampuan berpikir peserta didik. Setelah

artefak selesai dibuat, kegiatan dilanjutkan dengan menyempurnakan hasil tersebut melalui pameran atau presentasi di depan peserta didik lain, pendidik, orang tua, dan pihak lain yang dapat bertindak sebagai penilai atau memberikan umpan balik.

#### 5) *Analyze and Evaluation*

Tahap ini merupakan tahap akhir dalam model *Problem Based Learning* (PBL). Selama tahap ini, pendidik meminta peserta didik untuk merefleksikan dan merekonstruksi pemikiran serta aktivitas yang telah mereka lakukan sepanjang proses pembelajaran. Tujuannya adalah membantu peserta didik menganalisis dan mengevaluasi proses pembelajaran, serta keterampilan penyelidikan dan intelektual yang telah digunakan.

### **3. Bahan Ajar**

#### a. Pengertian Bahan Ajar

Bahan ajar menurut (Pannen & Purwanto, 2001) merupakan materi pelajaran atau bahan yang disusun secara sistematis, untuk pendidik dan peserta didik dalam proses pembelajaran. Menurut Harjanto (2008)

dalam pengembangan bahan ajar terdapat berbagai aspek yang dapat dijadikan patokan, yaitu:

- 1) Konsep : Ide atau gagasan yang menjadi dasar.
- 2) Prinsip : Kebenaran dasar yang menjadi titik tolak untuk berpikir atau petunjuk dalam bertindak atau melaksanakan sesuatu.
- 3) Fakta : Sesuatu yang telah terjadi, dilakukan, atau dialami.
- 4) Proses : Serangkaian perubahan, pergerakan, atau perkembangan.
- 5) Nilai : Pola, ukuran, tipe, atau model tertentu yang digunakan sebagai acuan.
- 6) Keterampilan : Kemampuan untuk melakukan sesuatu dengan baik.

Menurut Herry Hernawan (2012) ada dua bentuk bahan pembelajaran yaitu:

- 1) Bahan pembelajaran dengan desain lengkap adalah bahan ajar yang memuat semua komponen pembelajaran secara utuh, meliputi:
  - a) Tujuan pembelajaran atau kompetensi yang akan dicapai peserta didik.
  - b) Kegiatan pembelajaran yang harus dilakukan peserta didik.

- c) Materi pembelajaran yang tersusun secara terstruktur dan matematis.
- d) Tersedia Ilustrasi, media, dan alat peraga pembelajaran.
- e) Latihan dan tugas, serta dilengkapi dengan evaluasi dan umpan balik.

Contoh bahan pembelajaran dalam kategori desain lengkap meliputi modul pembelajaran, audio dan atau video pembelajaran, pembelajaran berbasis komputer, serta pembelajaran berbasis yang berbasis web atau internet.

- 2) Bahan pembelajaran yang desain tidak lengkap adalah bahan pembelajaran ini dirancang dengan komponen pembelajaran yang terbatas, seperti sumber belajar, media pembelajaran, atau alat peraga yang digunakan sebagai alat bantu dalam proses pembelajaran. Contoh bahan pembelajaran yang didesain tidak lengkap hanya meliputi pembelajaran dengan alat peraga, transparansi, buku teks, peta, globe, model kerangka manusia, dan sejenisnya.

Berdasarkan pengertian menurut beberapa ahli dapat disimpulkan bahwa bahan ajar merupakan bahan-bahan atau materi yang disusun secara sistematis untuk

kegiatan pembelajaran pendidik dan peserta didik. Bahan ajar dapat berupa audio pembelajaran, video pembelajaran, modul pembelajaran, pembelajaran berbasis komputer, pembelajaran berbasis *web*/internet dan sejenisnya.

b. Manfaat Bahan Ajar

Peran dari manfaat bahan ajar dalam proses pembelajaran sangat penting. Menurut Belawati (2003) yang menyatakan bahwa peran adanya bahan ajar bagi pendidik dan peserta didik dalam pembelajaran, baik pembelajaran individual, kelompok, maupun klasikal. Agar dapat memperoleh pemahaman yang lebih jelas akan dijelaskan oleh Sudjana (2010) masing-masing peran sebagai berikut:

1) Bagi Pendidik

Peran bahan ajar bagi pendidik yaitu:

- a) Efisiensi waktu pendidik dalam mengajar. Dengan adanya bahan ajar, peserta didik dapat mempelajari materi atau topik terlebih dahulu sebelum memulai pembelajaran, sehingga pendidik tidak perlu menjelaskan secara rinci.
- b) Mengubah peran pendidik menjadi fasilitator. Bahan ajar memungkinkan

pendidik berfokus untuk memfasilitasi peserta didik dalam proses belajar, daripada hanya menyampaikan materi pelajaran.

- c) Meningkatkan proses pembelajaran menjadi lebih efektif dan interaktif. Bahan ajar dapat membuat pembelajaran lebih efektif, karena pendidik memiliki lebih banyak waktu untuk membimbing peserta didik. Selain itu, metode yang digunakan menjadi lebih variatif dan interaktif, karena pendidik tidak hanya melakukan ceramah yang bisa membuat peserta didik merasa bosan.

## 2) Bagi Peserta didik

Bahan ajar bagi peserta didik memiliki peran yakni:

- a) Peserta didik dapat belajar tanpa kehadiran pendidik. Peserta didik dapat belajar secara mandiri, tanpa bergantung pada kehadiran pendidik.
- b) Peserta didik dapat belajar kapan saja dan di mana saja. Pembelajaran dapat dilakukan di waktu dan tempat yang diinginkan oleh peserta didik.

- c) Peserta didik dapat menyesuaikan dengan kecepatan belajar sendiri. Peserta didik memiliki kebebasan untuk belajar dengan kecepatan yang sesuai dengan kemampuannya.
- d) Peserta didik dapat menyesuaikan urutan yang dipilihnya sendiri dalam belajar. Peserta didik dapat memilih urutan materi yang ingin dipelajari.

#### **4. Bahan Ajar Fisika Berbantuan *Augmented Reality* dengan Sintak Model Pembelajaran *Problem Based Learning***

Bahan ajar merupakan faktor yang sangat penting dalam kegiatan pembelajaran. Melalui bahan ajar, pendidik dapat lebih mudah dalam menyampaikan materi, dan kegiatan pembelajaran akan menjadi lebih dinamis dengan adanya variasi bahan ajar. Peserta didik juga akan merasakan manfaat dari penggunaan bahan ajar yang beragam. Namun, sebuah bahan ajar belum tentu dapat menjangkau seluruh kalangan peserta didik, karena keterbatasan trainer atau bahan ajar itu sendiri dapat menjadi salah satu penghambat. Selain itu, perbedaan karakteristik dan kemampuan peserta didik dalam

menyerap materi yang disampaikan juga menjadi hambatan lain dalam proses pembelajaran.

Azuma (1997) mendefinisikan *Augmented Reality* (AR) sebagai teknologi yang menggabungkan objek nyata dan maya di lingkungan nyata. AR dapat beroperasi secara interaktif dalam waktu nyata dan memungkinkan integrasi objek dalam tiga dimensi, di mana objek maya terintegrasi dengan dunia nyata. Penggabungan antara objek nyata dan maya ini dimungkinkan dengan teknologi tampilan yang sesuai, sementara interaktivitas dapat dicapai melalui perangkat input tertentu. Integrasi yang efektif antara objek juga memerlukan penjejakan yang baik untuk memastikan pengalaman AR yang optimal.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Augmented Reality* (AR) merupakan aplikasi yang dapat menggabungkan dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan tersebut, baik dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi yang diproyeksikan pada sebuah lingkungan nyata secara bersamaan dan interaktif. Dengan harapan kegiatan pembelajaran dapat lebih menarik bagi peserta didik dengan menggunakan *Augmented Reality*, sebagai salah satu alternatif inovasi dalam membuat bahan ajar (Mustaqim, 2017).

Tabel 2. 2. Hubungan Bahan Ajar dengan Model *Problem Based Learning* terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

<b>Sintak Model Pembelajaran <i>Problem Based Learning</i></b>	<b>Fitur Bahan Ajar</b>	<b>Sub Indikator Keterampilan Berpikir Kritis</b>
<i>Orientation</i>	Menggunakan bahan ajar untuk memperkenalkan masalah atau studi kasus kepada siswa dan menyajikan tujuan pembelajaran.	Fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen
<i>Organisation</i>	Menggunakan kegiatan aktivitas untuk membentuk kelompok, menetapkan peran, dan merencanakan strategi penyelidikan.	Mampu mengamati dan mempertimbangkan kredibilitas sumber
<i>Individual and Group Guiding</i>	Menggunakan kegiatan pada bahan ajar dengan fasilitator untuk membimbing siswa dalam melakukan penyelidikan mandiri dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis.	Mampu menginvestigasi dan membuat kesimpulan
<i>Development</i>	Menggunakan bahan ajar fisika berbantuan <i>Augmented Reality</i> menggunakan aplikasi Assemblr Edu.	Mampu mengidentifikasi dan menalar dari asumsi maupun sumber
<i>Analyze and Evaluation</i>	Menggunakan latihan soal pada bahan ajar untuk menganalisis dan mengidentifikasi pengetahuan yang diperoleh peserta didik, serta merefleksikan proses pembelajaran.	Mampu memperkirakan dan menggabungkan

## 5. Assemblr Edu

*Software Assemblr Edu* merupakan software atau aplikasi berbasis 3D dan AR yang memungkinkan penggunanya membuat kegiatan belajar menjadi lebih interaktif, kolaboratif, dan menyenangkan. Dengan menggunakan aplikasi ini, kegiatan belajar menjadi lebih menyenangkan dan interaksi menjadi lebih mudah dengan peserta didik (Enzai et al., 2021). *Assemblr Edu* dapat diakses menggunakan *smartphone* dan tersedia secara gratis atau berbayar. *Assemblr Edu* memberikan tampilan aplikasi yang menarik secara visual dan mudah dilihat akses fitur-fiturnya untuk memudahkan peserta didik dan pendidik dalam menggunakannya.

*Assemblr Edu* memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk pendidikan dan pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR). Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari aplikasi *Assemblr Edu* sebagai berikut.

### a. *User-Friendly Interface*

Antarmuka pengguna *Assemblr Edu* dirancang agar mudah digunakan oleh pengguna dari berbagai latar belakang, termasuk guru, peserta didik, dan orang tua. Ini memungkinkan mereka untuk dengan cepat

memahami cara menggunakan berbagai fitur dan alat yang tersedia dalam aplikasi.

b. Kreatifitas Berbasis AR

*Assemblr Edu* mempromosikan kreativitas dengan menyediakan alat yang kuat tetapi mudah digunakan untuk membuat konten AR. Pengguna dapat menciptakan model 3D, animasi, dan interaksi AR dengan cara yang inovatif dan menarik.

c. Pembelajaran Interaktif

Aplikasi ini menyediakan lingkungan pembelajaran yang interaktif dan berbasis pengalaman. Hal ini yang dapat memungkinkan peserta didik untuk belajar melalui eksplorasi aktif dan pengalaman langsung dengan konten AR.

d. Kustomisasi dan Pengeditan Konten

*Assemblr Edu* memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan konten AR yang ada atau membuat konten baru sesuai dengan kebutuhan pembelajaran pendidik. pendidik dapat menyesuaikan aspek visual, interaktif, dan informasional dari konten untuk mencocokkan tujuan pembelajaran pendidik.

e. Kolaborasi dan Berbagi

Aplikasi ini mendukung kolaborasi antara guru dan peserta didik, serta antara pengguna lain dalam

komunitas edukasi Assemblr. Pengguna dapat berbagi proyek, memberikan umpan balik, dan belajar dari pengalaman pembelajaran satu sama lain.

f. Integrasi dengan Kurikulum

*Assemblr Edu* dapat diintegrasikan dengan kurikulum pendidikan yang ada memungkinkan guru untuk menggunakan konten AR sebagai bagian dari rencana pelajaran peserta didik dan memperkaya pengalaman pembelajaran peserta didik.

g. Fleksibilitas *Platform*

Aplikasi ini tersedia di berbagai *platform*, termasuk perangkat *mobile* dan *desktop*. Oleh karena itu, pendidik dan peserta didik memungkinkan akses mudah dan fleksibilitas dalam menggunakan aplikasi di berbagai lingkungan pembelajaran.

h. Konten Edukatif yang Berkualitas

*Assemblr Edu* menyediakan akses ke berbagai konten pembelajaran AR yang disetujui, dikurasi, atau dibuat oleh mitra edukasi, yang memastikan kualitas dan relevansi konten untuk pembelajaran (*Assemblr Edu*, 2021).

Karakteristik-karakteristik ini secara keseluruhan membuat *Assemblr Edu* menjadi *platform* yang efektif untuk mengintegrasikan teknologi AR dalam bahan ajar yang dapat

melatih peserta didik berpikir kritis terhadap materi pembelajaran gelombang bunyi dengan cara yang inovatif dan menarik.

## 6. Gelombang Bunyi

### a) Cepat Rambat Bunyi

Bunyi apabila dilihat dari segi jenis gelombang merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium cair, gas, dan padat. Cepat rambat bunyi merupakan jarak antara sumber dengan pendengar per selang waktu yang dibutuhkan gelombang bunyi supaya bisa sampai pada pendengar.

Cepat rambat bunyi juga bergantung pada sifat-sifat medium rambat, untuk itu bunyi memiliki cepat rambat yang dipengaruhi oleh dua hal yaitu suhu medium dan kerapatan partikel medium yang dilalui bunyi (Paul A. Tipler, 1998). Semakin tinggi suhu medium yang dilalui, maka semakin cepat pula bunyi merambat. Semakin padat susunan partikel yang dilalui medium, maka semakin cepat bunyi tersebut merambat.

Persamaan cepat rambat bunyi dapat dilihat pada Persamaan 2.1.

$$v = \frac{s}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$v$  : cepat rambat gelombang (m/s)

$s$  : jarak sumber bunyi ke pendengar (m)

$t$  : waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak sumber ke pendengar (s)

Dari Persamaan 2.1, jika jarak ( $s$ ) diganti dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) maka waktu dapat digantikan oleh waktu untuk menempuh satu panjang gelombang yaitu periode ( $T$ ). Sesuai dengan Persamaan 2.2.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dapat berubah menjadi Persamaan 2.3.

$$v = \lambda f \text{ atau } v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$v$  : cepat rambat gelombang (m/s)

$\lambda$  : panjang gelombang (m)

$f$  : frekuensi (Hz)

$T$  : periode (s)

Cepat rambat bunyi ditinjau dari mediumnya:

1) Medium cair

Cepat rambat bunyi pada medium cair bergantung pada massa jenis benda dan modulus bulk benda tersebut. Modulus bulk adalah konstanta material dan memiliki dimensi yang sama dengan modulus young. Air bersifat menekan dan memiliki hubungan antara gaya  $F$  dan perubahan volume air  $V$

(Hirose & Lonngren, 2010). Persamaan cepat rambat bunyi medium cair sesuai dengan Persamaan 2.4.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$v$  : cepat rambat bunyi (m/s)

$B$  : modulus bulk (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : massa jenis zat cair (kg/m<sup>3</sup>)

## 2) Medium Padat

Gelombang suara membutuhkan media tekan (rarefaktif). Bunyi gelombang dalam benda padat dapat muncul karena padatan bersifat tekan elastis (Hirose & Lonngren, 2010). Cepat rambat bunyi pada medium padat bergantung pada massa jenis zat padat dan modulus young. Persamaan cepat rambat bunyi medium padat dapat dilihat pada Persamaan 2.5.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$v$  : cepat rambat bunyi (m/s)

$E$  : modulus young (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : massa jenis zat padat (kg/m<sup>3</sup>)

## 3) Medium Gas

Gelombang bunyi di medium gas atau udara merupakan fenomena gelombang yang paling sering

dijumpai oleh manusia. Telinga manusia dapat mendeteksi gelombang bunyi dengan frekuensi mulai dari sekitar 20 Hz hingga 20 kHz (audiosonik).

Gelombang bunyi dapat terjadi dengan benda-benda fisik yang berosilasi atau bergetar. Contoh sederhananya adalah ketika manusia berbicara, pita suara manusia akan bergetar untuk melakukan gerakan menekan pada molekul di udara (Hirose & Lonngren, 2010). Cepat rambat bunyi medium gas bergantung pada jenis gas dan suhu sesuai dengan Persamaan 2.6.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$v$  : cepat rambat bunyi (m/s)

$\gamma$  : tetapan laplace

$R$  : tetapan gas umum (J/mol K)

$T$  : suhu mutlak (K)

$Mr$  : massa molekul relatif (kg/mol)

#### b) Pipa Organa

Pipa organa adalah bentuk pipa yang memiliki rongga di dalamnya. Terdapat dua jenis pipa organa, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup (Tipler, 1998).

### 1) Pipa Organa Terbuka

Pipa organa terbuka merupakan pipa organa yang terbuka di kedua ujungnya, kedua ujungnya tersebut merupakan titik perut. Frekuensi dasar pipa organa terbuka  $f_1$  mempunyai pola gelombang berdiri dengan satu titik simpul di tengah-tengahnya dan titik-titik perut di kedua ujungnya. Dengan demikian, frekuensi dasar pipa organa terbuka memiliki satu simpul dan dua perut.

Adapun jarak antara dua titik perut yang berurutan yaitu  $\frac{1}{2} \lambda$ , dimana jarak tersebut sama dengan panjang pipa ( $L$ ). Dengan demikian  $L = \frac{1}{2} \lambda$  atau  $\lambda = 2L$ . Sesuai dengan Gambar 2.1 (a). Hal tersebut kemudian diperoleh Persamaan 2.7.

$$\lambda_0 = 2L \quad (2.7)$$

Frekuensi memiliki hubungan dengan cepat rambat bunyi sesuai dengan Persamaan 2.7, maka diperoleh Persamaan 2.8.

$$f_0 = \frac{v}{2L} \quad (2.8)$$

Apabila Sepanjang pipa organa terbuka terbentuk panjang gelombang sebesar  $\lambda$  seperti Gambar 2.1. (b), maka akan membentuk Persamaan 2.9.

$$\lambda_1 = L \quad (2.9)$$

Sehingga untuk frekuensi nada dasar atau pola

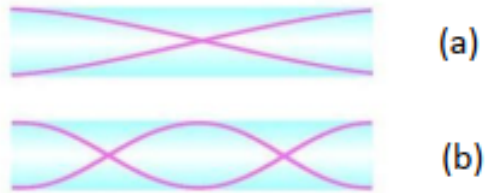
harmonik pertama dapat dituliskan sesuai dengan Persamaan 2.10.

$$f_1 = \frac{v}{2L} \quad (2.10)$$

Sehingga setiap frekuensi pada nada ke-n akan memenuhi Persamaan 2.11.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{v}{2L/n} = n \frac{v}{2L} \quad (2.11)$$

(n = 0,1,2,3,4, , dst)



Gambar 2.1. Pipa Organa Terbuka. (a) Nada Dasar. (b) Nada Atas Pertama

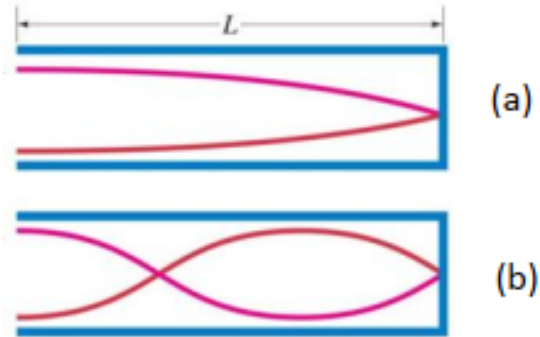
## 2) Pipa Organa Tertutup

Apabila sepanjang pipa organa terbentuk  $\frac{1}{4}$  gelombang seperti Gambar 2.2 (a), maka akan menghasilkan nada dasar dengan Persamaan 2.12.

$$\lambda_0 = 4L \quad (2.12)$$

Sesuai hubungan antara frekuensi dan panjang gelombang, maka untuk frekuensi nada dasar pada pipa organa tertutup dapat dilihat pada Persamaan 2.13.

$$f_0 = \frac{v}{4L} \quad (2.13)$$



Gambar 2.2 (a) Nada Dasar Pipa Organa Tertutup (b) Nada Atas Pertama atau Pola Harmonik Kedua Pipa Organa Tertutup

Apabila sepanjang pipa organa tertutup terbentuk  $\frac{3}{4}$  gelombang seperti Gambar 2.2 (b), maka nada yang terbentuk adalah nada atas pertama. Besar panjang gelombang dapat dilihat sesuai dengan Persamaan 2.14.

$$\lambda_1 = \frac{4}{3} \quad (2.14)$$

Sehingga frekuensi pipa organa tertutup untuk nada atas pertama memiliki persamaan sesuai dengan Persamaan 2.15.

$$f_1 = \frac{3v}{4L} \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas, persamaan frekuensi pipa organa pada nada ke- $n$  dapat dilihat pada Persamaan 2.16.

$$f_n = (2n + 1) \frac{v}{4L} \quad (2.16)$$

$$(n = 0, 1, 2, 3, \dots, dst)$$

c) Bunyi pada Dawai

Dawai merupakan alat getar yang terdapat pada biola maupun gitar. Getaran tersebut akan menghasilkan bunyi dengan nada tertentu yang bergantung pada jumlah gelombang yang dimiliki dawai tersebut. Dengan demikian kecepatan pada dawai yang lebih berat akan lebih rendah frekuensinya (Giancoli, 2014). Hubungan antara panjang dawai ( $l$ ) dan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dirumuskan pada Persamaan 2.17.

$$L = \frac{1}{2} \lambda_0 \quad (2.17)$$

1) Cepat Rambat Bunyi pada Dawai

Cepat rambat bunyi pada dawai dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.18.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (2.18)$$

Keterangan :

$v$  : cepat rambat bunyi (m/s)

$F$  : tegangan tali pada dawai (N)

$\mu$  : massa persatuan panjang (kg/m)

$L$  : panjang dawai (m)

2) Nada Dasar ( $f_0$ )

Frekuensi nada dasar pada dawai dapat dilihat

pada Persamaan 2.19.

$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v}{2L} \quad (2.19)$$

Apabila memasukkan Persamaan 2.17 dan Persamaan 2.18 ke dalam Persamaan 2.19, maka persamaan nada dasar pada dawai dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 2.20.

$$f_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (2.20)$$

3) Nada Atas Pertama ( $f_1$ )

Frekuensi nada atas pertama pada dawai dapat dilihat pada Persamaan 2.21.

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{L} \quad (2.21)$$

Apabila memasukkan Persamaan 2.17 dan Persamaan 2.18 ke dalam Persamaan 2.21, maka persamaan nada atas pertama pada dawai dirumuskan pada Persamaan 2.22.

$$f_1 = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (2.22)$$

4) Frekuensi Nada Atas ke-n

Berdasarkan dari persamaan-persamaan sebelumnya, untuk persamaan frekuensi nada atas ke-n dapat dituliskan sesuai dengan Persamaan 2.23

$$f_n = \frac{(n+1)v}{2} \quad (2.23)$$

d) Intensitas Bunyi

1) Intensitas Gelombang Bunyi

Intensitas gelombang bunyi didefinisikan sebagai energi bunyi tiap sekon yang diangkut gelombang pada setiap satuan luas permukaan yang dilakukan secara tegak lurus (Giancoli, 2014). Secara matematis, intensitas gelombang bunyi dirumuskan dengan Persamaan 2.24.

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$I$  : intensitas bunyi ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$P$  : daya (W)

$A$  : luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

2) Taraf Intensitas Bunyi

Rata-rata intensitas gelombang bunyi yang dapat didengar oleh manusia adalah  $10^{-10} \text{ W}/\text{m}^2$  yang kemudian dikenal dengan ambang pendengaran. Sedangkan intensitas terbesar bunyi yang masih dapat didengar manusia adalah  $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$  (Giancoli, 2014).

Alternatif untuk dapat untuk mengetahui intensitas bunyi adalah dengan membandingkan intensitas bunyi dengan harga ambang pendengaran yang dirumuskan dalam Persamaan 2.25.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$TI$  : taraf intensitas bunyi ( $dB$ )

$I_0$  : harga ambang intensitas bunyi ( $W/m^2$ )

$I$  : intensitas bunyi ( $W/m^2$ )

e) Efek Doppler

Efek doppler terjadi ketika pengamat dalam keadaan bergerak dan sumber dalam keadaan diam maupun sebaliknya. Apabila pengamat menjauhi sumber, nada yang dihasilkan lebih rendah. Apabila pengamat mendekati sumber, nada yang dihasilkan lebih tinggi (Priyadi et al., 2018). Persamaan frekuensi gelombang yang terjadi pada peristiwa efek doppler sesuai dengan Persamaan 2.26.

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s \quad (2.26)$$

Keterangan:

$f_p$  : frekuensi yang diterima pendengar (Hz)

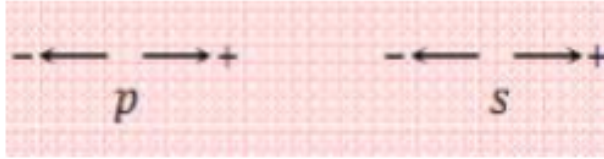
$f_s$  : frekuensi yang dihasilkan sumber (Hz)

$v$  : cepat rambat bunyi di udara (m/s)

$v_p$  : kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  : kecepatan sumber (m/s)

Penggunaan tanda (+) dan (-) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penggunaan Tanda (+) dan (-) pada Efek Doppler

Keterangan tanda:

$v_p (+)$  : jika pendengar mendekati sumber bunyi

$v_p (-)$  : jika pendengar menjauhi sumber bunyi

$v_s (+)$  : jika sumber menjauhi pendengar

$v_s (-)$  : jika sumber mendekati pendengar

## B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Ilafi (2022). Penelitian tersebut mengembangkan bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* menggunakan model pengembangan *ADDIE* mendapatkan rata-rata sebesar 96% peserta didik mampu mencapai nilai kriteria ketuntasan kemenarikan bahan ajar sehingga bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* berkategori efektif. Materi yang diangkat dalam penelitian Mela Mahardika Ilafi berbeda dengan materi yang akan dikembangkan peneliti, materi yang diangkat ilafi adalah materi fisika tata surya. Penelitian yang dilakukan Mela Mahardika Ilafi juga memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dikembangkan, yaitu dengan menggunakan model pengembangan *ADDIE*.

Selain itu, penelitian yang mendekati dilakukan oleh Pradana (2018). Penelitian tersebut mengembangkan bahan ajar berbantuan *Augmented Reality*, akan tetapi menggunakan model pengembangan Lee Owens mendapatkan rata-rata sebesar 88,24% peserta didik dengan predikat valid hasil bahan ajar sehingga bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* berkategori efektif. Materi yang diangkat dalam penelitian Pradana adalah teknik-teknik pengambilan gambar bergerak. Penelitian yang dilakukan Pradana juga memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dikembangkan, yaitu dengan menggunakan bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan *Assemblr Edu*.

Penelitian yang mendekati dilakukan oleh Oktaviyanti (2023). Penelitian tersebut mengembangkan bahan ajar berbasis STEM dengan memanfaatkan *Augmented Reality* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis mendapatkan rata-rata sebesar 84,4% peserta didik dengan predikat valid hasil bahan ajar sehingga bahan ajar berbasis STEM dengan memanfaatkan *Augmented Reality* berkategori efektif. Materi yang diangkat dalam penelitian oleh Oktaviyanti adalah getaran, gelombang, dan bunyi. Penelitian yang dilakukan Oktaviyanti menggunakan aplikasi STEM sedangkan penelitian yang akan menggunakan *Assemblr Edu*. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Oktaviyanti, memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan

dikembangkan, yaitu dengan menggunakan bahan ajar memanfaatkan *Augmented Reality*.

Sutanto (2022) mengembangkan bahan ajar berbasis *Discovery Learning* dengan *Augmented Reality* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Penelitian tersebut mendapatkan respons peserta didik dengan skor rata-rata 83% dengan interpretasi baik. Penelitian yang dilakukan Susanto juga mendekati dengan penelitian yang akan dikembangkan yaitu pengembangan bahan ajar dengan *Augmented Reality*. Penelitian yang dilakukan Susanto menggunakan model *Discovery Learning*, sedangkan peneliti akan menggunakan model *Problem Based Learning*

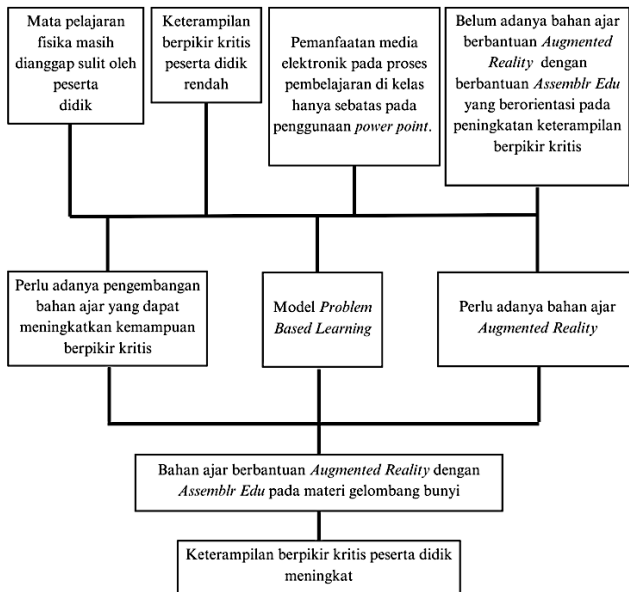
Penelitian yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dikembangkan juga dilakukan oleh Ridha (2023). Penelitian ini memiliki kesamaan yaitu mengembangkan bahan ajar berbantuan dengan *Augmented Reality*. Materi yang di angkat berbeda dengan materi yang akan diangkat oleh peneliti. Adapun pada penelitian Ridha adalah Kalor. Pada penelitian bahan ajar yang dikembangkan memiliki kategori yang sangat baik yaitu memperoleh nilai rata-rata sebesar 84%.

### **C. Kerangka Berpikir**

Berdasarkan *pra-riset* yang telah dilakukan di kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang, keterampilan berpikir kritis

peserta didik masih tergolong rendah. Oleh karena itu, diperlukan bahan ajar yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan sesuai dengan perkembangan zaman.

Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* merupakan bahan ajar yang akan dikembangkan dalam penelitian dengan tujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Kelebihan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* adalah mampu memberi kesempatan peserta didik untuk melahirkan pengetahuannya sendiri, mampu menganalisis apa yang diketahuinya secara jelas, dan secara tidak langsung dapat meningkatkan daya berpikir yang kritis peserta didik.



Gambar 2.4 Kerangka Berpikir

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Model Pengembangan

Metode penelitian menggunakan metode *Research and Development*. Kegunaan metode *R&D* adalah untuk menghasilkan suatu produk dan diuji kelayakannya. Metode penelitian ini dilakukan analisis kebutuhan terlebih dahulu dan diuji kelayakan produk agar dapat bermanfaat bagi masyarakat luas (Sugiyono, 2013). Dalam sektor pendidikan, *Research and Development* biasanya digunakan untuk memvalidasi atau mengembangkan produk-produk tertentu yang digunakan dalam proses pembelajaran. Jenis penelitian *Research and Development* dalam hal ini akan dijadikan sebagai landasan dalam mengembangkan bahan ajar fisika dengan berbantuan *Augmented Reality* dengan aplikasi *Assemblr Edu*.

Model pengembangan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model *ADDIE*. Model *ADDIE* merupakan singkatan dari *Analyze* (Analisis), *Design* (Desain), *Development* (Pengembangan), *Implementation* (Implementasi), dan *Evaluation* (Evaluasi). Alasan peneliti menggunakan model pengembangan ini, dikarenakan *ADDIE* memiliki prosedur kerja yang mengacu pada tahapan *Research and Development (R&D)* namun lebih sistematis dan sederhana sehingga mampu

menghasilkan produk yang lebih efektif 5 tahap pengembangan model *ADDIE* yaitu:

1. *Analyze* (analisis), adalah tahap mengidentifikasi masalah dan menganalisis kebutuhan.
2. *Design* (perencanaan/desain), adalah tahap merancang atau menggambarkan desain yang akan dilakukan untuk mempermudah pengembangan produk yang dibuat.
3. *Development* (pengembangan), merupakan proses mewujudkan tahap desain menjadi lebih nyata.
4. *Implementation* (implementasi), adalah tahap untuk mengimplementasikan produk yang telah selesai dibuat.
5. *Evaluation* (evaluasi), merupakan tahapan apakah bahan ajar yang dihasilkan sudah sesuai harapan pengembangan atau belum (Branch, 2009).

## **B. Prosedur Pengembangan**

Prosedur peneliti ini menggunakan metode *R&D* yang bertujuan menghasilkan bahan ajar dan mengetahui respons peserta didik terhadap bahan ajar yang dibuat. Bahan ajar ini diharapkan mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Penelitian pengembangan ini menggunakan *ADDIE* (*analyze, design, development, implementation & evaluation*). Tahapan penelitian pengembangan ini antara lain:

## 1. Tahap Analisis (*Analyze*)

### a. Analisis Kegiatan Belajar dan Mengajar (KBM)

Analisis KBM dilakukan dengan wawancara terhadap guru dan peserta didik MA NU Al Hikmah Semarang. Penggunaan teknik wawancara digunakan peneliti dalam penelitian bertujuan untuk mengetahui terkait dengan materi, bahan ajar, dan kurikulum yang digunakan dalam pembelajaran. Berdasarkan informasi yang didapatkan saat wawancara dengan Alfi Ristianti Oktaviani selaku guru pengampu mata pelajaran fisika di MA NU Al Hikmah Semarang menyatakan bahwa kurikulum yang digunakan di MA NU Al Hikmah Semarang menggunakan kurikulum merdeka dengan bahan ajar berupa buku cetak yang di berikan dari guru. Sedangkan pemanfaatan media pembelajaran yang digunakan di kelas hanya sebatas penggunaan *power point*.

### b. Analisis Kebutuhan Peserta Didik

Analisis kebutuhan pada peserta didik dilakukan bertujuan untuk menentukan bahan ajar yang dibutuhkan peserta didik. Selain itu pada tahap ini digunakan oleh peneliti untuk mengetahui materi yang dianggap sulit oleh peserta didik, sehingga akan dijadikan materi dalam bahan ajar yang akan dikembangkan. Tahap analisis

kebutuhan peserta didik dilakukan dengan cara penyebaran angket kepada peserta didik dan wawancara kepada guru MA NU Al Hikmah Semarang.

Berdasarkan penyebaran hasil angket kepada peserta didik dan wawancara kepada guru, permasalahan yang dialami peserta didik saat pembelajaran fisika meliputi,

- 1) Belum adanya bahan ajar fisika yang mendukung peserta didik untuk belajar mandiri
- 2) Belum adanya bahan ajar fisika yang dapat menunjang peserta didik untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis.
- 3) Sebagian peserta didik (75,9%) menyatakan bahwa materi gelombang bunyi merupakan materi abstrak.

## **2. Tahap *Design* (Perencanaan)**

Tahap ini dilangsungkan perencanaan dalam mengembangkan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality*. Tahap perencanaan berguna untuk membantu dan memudahkan pembuatan bahan ajar yang dikembangkan. Di tahap ini dilakukan penentuan unsur yang dibutuhkan dalam pembuatan bahan ajar mulai dari materi gelombang bunyi, petunjuk penggunaan bahan ajar, dan pengoperasiannya. Selain dilakukan perencanaan pengembangan bahan ajar pembelajaran, dilakukan juga

penyusunan lembar angket penilaian untuk validator, *pre-test* dan *post-test* beserta angket respons peserta didik.

Tahap desain dalam penelitian ini berorientasi pada pembuatan kerangka bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* yang meliputi referensi materi, penyiapan *software*, dan instrumen yang dibutuhkan dalam pembuatan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* terdiri dari:

- a. Bahan ajar didesain dalam bentuk cetak yang disusun menggunakan beberapa perangkat lunak seperti *Microsoft Word*, *Assemblr Edu*, dan *Canva*.
- b. Menu yang terdapat pada bahan ajar terdiri dari panduan penggunaan bahan ajar, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, profil pelajar pancasila, materi gelombang bunyi dan berisi fitur dari bahan ajar, latihan soal, dan glosarium.
- c. Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* mencakup materi gelombang bunyi, klasifikasi gelombang bunyi, dawai, pipa organa, intensitas dan taraf intensitas, serta efek doppler.

### **3. Tahap *Development* (Pengembangan)**

Tahap *Development* ini dilakukan pembuatan bahan ajar. Bahan ajar yang selesai dibuat divalidasi oleh validator. Angket validasi dibagikan kepada para ahli untuk dinilai.

Setelah dilakukan validasi dilakukan perbaikan bahan ajar terkait produk yang dibuat sesuai dengan masukan dari validator. Hasil lembar validasi dijadikan bahan perbaikan bahan ajar yang dibuat sebelum diimplementasikan kepada peserta didik.

Terdapat beberapa standar utama dalam penilaian yang tertera dalam Permendikbudristek nomor 22 Tahun 2022 tentang standar mutu buku (bahan ajar), standar proses dan kaidah pemerolehan naskah (bahan ajar), serta standar proses dan kaidah penerbitan buku (bahan ajar). Standar yang tertera dalam bahan ajar pada penelitian ini meliputi:

a. Standar Materi

Standar materi meliputi kelayakan isi, kelayakan penyampaian isi bahan ajar, kelayakan penggunaan bahasa bahan ajar.

b. Standar penyajian

Standar penyajian meliputi semua yang berhubungan dengan penyajian bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* yang baik dan benar.

#### 4. Tahap *Implementation* (Implementasi)

Tahap implementasi merupakan tahap dilakukan uji coba bahan ajar kepada peserta didik. Uji coba dilakukan di kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang sebanyak 29 peserta didik. Sebelum bahan ajar diimplementasikan peserta didik

diberikan soal *pre-test* yang berupa uraian untuk mengetahui keterampilan berpikir kritis peserta didik sebelum diberikan bahan ajar. Untuk mempersingkat waktu melakukan pembelajaran, maka peserta didik terlebih dahulu penginstal aplikasi dan melakukan pembelajaran secara mandiri di rumah.

Tahap implementasi dilakukan di kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang dan dilakukan sebanyak 2 kali pertemuan (4 x 45 menit) pada tanggal 13–20 November 2024. Tahap implementasi dalam penelitian ini dilakukan pada satu kelas yang di sekolah tersebut terdapat 2 kelas yang mendapatkan mata pelajaran fisika.

Pembelajaran dimulai dengan memberikan *pre-test* kepada peserta didik untuk mengukur tingkat pengetahuan peserta didik pada materi yang akan diangkat dalam bahan ajar. Setelah memberikan *pre-test*, guru menyampaikan tujuan pembelajaran yang akan dilakukan dan menyebarkan bahan ajar serta untuk menyiapkan *smartphone* untuk mengakses *Barcode Augmented Reality* pada bahan ajar tersebut.

Bahan ajar memiliki beberapa sub materi yang terdiri dari pengertian gelombang bunyi, klasifikasi gelombang bunyi, dawai, pipa organa, intensitas bunyi, taraf intensitas bunyi, dan efek doppler. Setiap sub materi memiliki konten

yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik seperti apersepsi, mari menalar, ayo mengamati, mari bereksperimen, aktivitas, dan latihan soal.

Guru melakukan pendampingan pada setiap fitur yang ada di bahan ajar. Misalnya seperti fitur “Aktivitas”, guru yang memantik peserta didik untuk dapat menemukan jawaban dari percobaan yang terdapat pada konten tersebut. Setelah guru memberikan kesempatan peserta didik untuk melakukan percobaan, guru kemudian memberikan arahan-arahan yang sesuai dari percobaan yang diangkat.

Guru juga memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menjawab pertanyaan serta menyimpulkan yang terdapat pada percobaan yang sudah dilakukan. Akhir sesi pembelajaran, guru memberikan *post-test* kepada peserta didik sebagai acuan dalam mengukur tingkat pemahaman dan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Setelah sesi pembelajaran selesai, guru menyebar angket respons peserta didik terhadap bahan ajar yang telah dikembangkan. Hal tersebut digunakan sebagai bahan untuk evaluasi sehingga bahan ajar yang dikembangkan dapat lebih baik dari sebelumnya.

## **5. Tahap *Evaluation* (Evaluasi)**

Tahap evaluasi merupakan proses untuk melihat produk yang diujicobakan, sesuai dengan harapan atau

tidak. Evaluasi mengenai produk yang dikembangkan didapatkan dari hasil implementasi yang diujicobakan kepada peserta didik. Tahap ini berguna untuk melihat respons peserta didik terhadap bahan ajar yang dibuat serta seberapa besar peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik setelah penggunaan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality*.

Tahap evaluasi pada penelitian ini dilakukan setelah pelaksanaan setiap tahapan. Evaluasi tahap analisis dilakukan pada saat *pra-riset*, dimana pada *pra-riset* tidak semua peserta didik yang dapat mengisi angket dikarenakan alasan izin. Evaluasi pada saat tahap analisis digunakan untuk memperkuat data di bagian latar belakang. Evaluasi pada tahap desain yaitu keterbatasan bahan-bahan yang ada pada aplikasi, sehingga terdapat bagian-bagian ilustrasi yang belum bisa di aktualisasikan pada media tersebut. Evaluasi pada tahap pengembangan sesuai dengan revisi yang diberikan oleh ahli materi dan ahli media. Evaluasi pada tahap pengembangan dibahas lebih detail pada bagian “Revisi Produk” pada BAB IV. Evaluasi tahap implementasi berkaitan dengan proses berjalannya penggunaan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* kepada peserta didik. Evaluasi tahap implementasi antara lain waktu

yang diperlukan pada saat peserta didik mengisi *pre-test* masih kurang, sebagian kecil peserta didik belum memiliki pandangan mengenai peristiwa gelombang bunyi pada kehidupan sehari-hari.

Tujuan tahap evaluasi selain untuk mengetahui hal-hal apa saja yang perlu diperbaiki pada tahapan sebelumnya, tetapi juga bertujuan untuk bahan refleksi untuk kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.

## **C. Desain Uji Coba Produk**

### **1. Desain Uji Coba**

Pengujian produk ialah bagian dari tahap validasi dan evaluasi. Hasil media dikonsultasikan dengan pembimbing serta tim validator. Kemudian media diujicobakan kepada peserta didik kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang. Sebagai calon pengguna bahan ajar. Adapun tahap uji coba produk yaitu:

#### **a. Sebelum Validasi**

Sebelum tahap validasi, bahan ajar dilakukan setelah produk dikonsultasikan dengan pembimbing. Hal tersebut guna untuk memperoleh saran perbaikan terkait dengan kualitas produk yang dibuat sebelum diberikan kepada tim validator untuk divalidasi.

b. Uji Validitas oleh Validator Ahli

Tahap ini bertujuan untuk mencari kelemahan bahan ajar yang dibuat. Hasil penilaian validator dijadikan sebagai bahan merevisi produk. Tim validator menilai kelayakan dan kevalidan bahan ajar ditinjau dari beberapa aspek diantaranya: kebahasaan, relevansi, keefektifan bahan ajar, kelayakan penyajian, dan penilaian kontekstual.

**2. Subjek Uji Coba**

Uji coba bahan ajar diterapkan pada satu kelas. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*, dikarenakan yang mengambil satu kelas saja. Ketentuan sampel yaitu peserta didik yang belum mendapatkan materi gelombang bunyi. Subjek penelitian adalah kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang sebanyak 29 peserta didik.

**3. Instrumen Pengumpulan Data**

Instrumen pengumpulan data diantaranya:

a. Tes Keterampilan Berpikir kritis

Tes keterampilan berpikir kritis adalah beragam pertanyaan yang berguna untuk mengukur pengetahuan, kemampuan, serta keterampilan seseorang (Salahudin, 2017). Tes berupa pemberian soal uraian kepada peserta didik guna mengetahui keterampilan berpikir kritis peserta didik.

b. Non Tes

Non tes berfungsi untuk mengumpulkan jawaban secara terstruktur. Jawaban yang diperoleh dari instrumen non-tes dapat dihitung dan dijumlahkan, sehingga menghasilkan angka yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut (Salahudin, 2017). Instrumen non tes dapat dikumpulkan menggunakan instrumen angket dan wawancara.

Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu:

a. Lembar validasi bahan ajar

Lembar validasi angket kelayakan produk mencakup pertanyaan yang berkaitan dengan kelayakan bahan ajar, inovasi desain, materi, dan penyajiannya. Lembar validasi ini berisi pendapat dari validator mengenai kualitas bahan ajar, yang kemudian dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi atau perbaikan produk.

b. Angket respons peserta didik terhadap produk

Angket adalah cara mengumpulkan data dengan memberikan pertanyaan secara tertulis kepada para responden (Salahudin, 2017). Pemberian angket respons bertujuan untuk mengumpulkan data yang diperoleh di lapangan. Angket ini berisi tanggapan peserta didik terhadap produk yang dikembangkan.

c. Tes *Pre-test* dan *Post-test* Keterampilan Berpikir kritis

Tes *pre-test* adalah tes untuk mengukur kemampuan peserta didik sebelum mengikuti kegiatan pembelajaran. Sedangkan tes *post-test* adalah tes yang diberikan sesudah mengikuti kegiatan pembelajaran. Tes tersebut berguna untuk mengetahui keterampilan berpikir kritis peserta didik. Instrumen pengumpulan data yang tepat diperlukan untuk menunjang penelitian.

Instrumen digunakan sebagai alat ukur atau pedoman untuk pengumpulan data. Instrumen dikatakan baik apabila mampu mengukur (Huda et al., 2019). Instrumen dikatakan baik jika mampu digunakan untuk mengukur sesuatu dengan hasil seperti yang dievaluasi.

#### **4. Analisis Instrumen Tes Kemampuan Berpikir Kritis**

a. Validitas instrumen soal oleh validator

Validitas instrumen soal keterampilan berpikir kritis peserta didik oleh validator dilakukan untuk mengetahui kevalidan sebagai penunjang dalam perolehan data penelitian. Aspek yang dinilai dalam validitas instrumen diantaranya adalah aspek kelayakan isi, aspek konstruksi, dan aspek bahasa dengan total butir soal sebanyak 11 butir. Validitas instrumen yang dilakukan oleh validator menggunakan analisis pada Persamaan 3.1.

$$P = \frac{\sum X}{\sum X_i} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Keterangan:

$P$  : persentase

$\sum X$  : jumlah skor empiris

$\sum X_i$  : jumlah skala maksimal x banyak aspek

(Widyoko, 2012)

Skala validitas instrumen oleh validator menggunakan kriteria validitas instrumen dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria Validitas Instrumen

Persentase	Kriteria
$80\% \leq P < 100\%$	Sangat layak
$60\% \leq P < 80\%$	Layak
$40\% \leq P < 60\%$	Kurang layak
$0\% \leq P < 40\%$	Sangat kurang layak

(Umar, 2011)

Hasil validasi ahli instrumen yang dilakukan oleh validator dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Validasi Instrumen oleh Validator

Aspek Penilaian	Jumlah Pernyataan	Persentase Kelayakan	Kategori
Kelayakan isi	4	92,04%	Sangat layak
Konstruksi Bahasa	3	99,24%	Sangat layak
Bahasa	5	100%	Sangat layak
Jumlah	12	97,09%	Sangat layak

Berdasarkan hasil penilaian dari ketiga aspek pada instrumen, dapat diketahui instrumen yang digunakan dalam penelitian mendapatkan persentase kelayakan sebesar 97,09% dan termasuk kategori sangat layak.

b. Uji Validitas Butir Soal

Validitas adalah ukuran yang digunakan untuk menyatakan kevalidan instrumen yang dibuat, sehingga dapat menyimpulkan data yang diteliti (Arikunto, 2009). Uji validitas butir soal yang digunakan adalah korelasi biserial sesuai dengan Persamaan 3.2.

$$r = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N\sum X^2 - (X^2)}(N\sum Y^2 - (\sum Y)^2)} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$r$  : korelasi antara variabel X dan Y

$N$  : jumlah subjek penelitian

$\sum X$  : jumlah skor item

$\sum Y$  : jumlah skor total item

$\sum XY$  : hasil kali skor item dan skor total

Hasil uji coba soal yang diperoleh kemudian diuji validasi dengan bantuan *software SPSS 27*. Jumlah responden dalam uji coba penelitian ini sebanyak 25 siswa, sehingga  $N = 25$ . Jika nilai  $r_{hitung} \geq r_{tabel}$  maka data dinyatakan valid. Nilai  $r_{tabel}$  dapat dilihat pada tabel nilai  $r$  *product moment*. Nilai  $r$  tabel 0,396. Perhitungan uji validitas pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Uji Validitas Soal Berpikir Kritis

Butir Soal	r tabel	r hitung	Keterangan
Item 1	0,396	0,591	Valid
Item 2	0,396	-0,009	Tidak Valid
Item 3	0,396	0,409	Valid
Item 4	0,396	0,421	Valid
Item 5	0,396	0,053	Tidak Valid
Item 6	0,396	-0,074	Tidak Valid
Item 7	0,396	0,526	Valid
Item 8	0,396	-0,058	Tidak Valid
Item 9	0,396	0,472	Valid
Item 10	0,396	0,615	Valid
Item 11	0,396	0,484	Valid

Berdasarkan tabel x di atas diketahui bahwa hasil uji validitas soal menunjukkan bahwa terdapat 4 item soal yang tidak valid, yaitu item 2, 5, 6, dan 8. Dengan demikian, keempat item tersebut tidak digunakan pada penelitian selanjutnya.

c. Reliabilitas

Instrumen penelitian diuji reliabilitasnya dengan teknik *Alpha Cronbach* yang dirumuskan sesuai dengan Persamaan 3.3.

$$r_i = \frac{k}{k-1} \left\{ 1 - \frac{\sum s_i^2}{s_i^2} \right\} \quad (3.3)$$

Keterangan :

$K$  : mean kuadrat antara subyek

$\sum s_i^2$  : mean kuadrat kesalahan

$s_i^2$  : varians total

Kemudian dicari kriterianya seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4. Kriteria *Alpha Cronbach*

Koefisien Reliabilitas	Tingkat Reliabilitas
$0,00 \leq r_i \leq 0,19$	Sangat Rendah
$0,20 \leq r_i \leq 0,39$	Rendah
$0,40 \leq r_i \leq 0,59$	Cukup
$0,60 \leq r_i \leq 0,79$	Tinggi
$0,80 \leq r_i \leq 1,00$	Sangat Tinggi

(Arikunto, 2009)

Analisis uji reliabilitas soal digunakan untuk mengukur tingkat kepercayaan soal *pre-test* dan *post-test* yang digunakan untuk penelitian. Analisis uji reliabilitas menggunakan *software SPSS 27* dengan menggunakan rumus *Cronback's Alpha* sesuai dengan Persamaan 3.3. Hasil analisis uji reliabilitas dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan dapat dilihat secara rinci pada Lampiran 17.

Tabel 3. 5. Hasil Reliabilitas Butir Soal

<i>Cronback's Alpha</i>	<i>N of items</i>	Kriteria
0,617	7	Reliabel

d. Daya Beda

Daya pembeda digunakan untuk membedakan peserta didik yang belum memahami kompetensi (Suyadi, 2020). Daya pembeda soal uraian dirumuskan dengan Persamaan 3.4.

$$DP = \frac{\text{Mean kelas atas} - \text{Mean kelas bawah}}{\text{Skor maksimum soal}} \quad (3.4)$$

Hasil dari perhitungan rumus tersebut berguna untuk membedakan peserta didik yang belum dan sudah memahami materi. Klasifikasi daya pembeda dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Klasifikasi Daya Pembeda

Batasan	Kategori
$0,00 \leq DP < 0,20$	Jelek
$0,20 \leq DP < 0,40$	Cukup
$0,40 \leq DP < 0,70$	Baik
$0,70 \leq DP \leq 1,00$	Baik Sekali

(Arikunto, 2015)

Analisis uji daya beda menggunakan *software SPSS 27* dan persamaan 3.4. Hasil uji daya beda dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Hasil Uji Daya Beda

No. Butir Soal	Jumlah	Kriteria
1	1	Baik
3, 4, 7, 9, 10, 11	6	Cukup

Berdasarkan Tabel 3.7 hasil soal valid memiliki daya beda yang beragam. kategori dari 11 soal tersebut diantaranya yaitu 1 soal kriteria baik, 6 soal kriteria cukup, dan 4 soal kriteria jelek. Hasil analisis daya beda secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 18.

e. Taraf Kesukaran

Taraf kesukaran adalah nilai yang menunjukkan proporsi peserta didik yang dapat menjawab soal tes

uraian (Magdalena, 2020). Tingkat kesukaran dapat dicari dengan Persamaan 3.5.

$$TK = \frac{Mean}{Skor\ Maksimal} \quad (3.5)$$

Untuk *mean* di peroleh dari Persamaan 3.6.

$$Mean = \frac{jumlah\ skor\ pada\ soal\ tertentu}{jumlah\ siswa\ yang\ mengikuti\ tes} \quad (3.6)$$

Hasil dari perhitungan kemudian dicari kriteria tingkat kesukaran soal seperti pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kriteria Tingkat Kesukaran

Kriteria	Keterangan
$TK > 0,70$	Mudah
$0,30 \leq TK \leq 0,70$	Sedang
$TK < 0,30$	Sukar

(Arikunto, 2015)

Hasil analisis tingkat kesukaran dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Hasil Tingkat Kesukaran

No. Butir Soal	Jumlah	Kriteria
4	1	Mudah
1, 3, 7, 9, 10, 11	6	Sedang

Berdasarkan Tabel 3.7, diketahui dari 7 soal yang tergolong valid, 1 soal tergolong mudah sedangkan 6 soal tergolong sedang. Secara rinci, analisis tingkat kesukaran dapat dilihat pada Lampiran 19.

## 5. Teknik Analisis Data

Analisis data yaitu proses penyusunan data yang didapatkan di lapangan secara sistematis. Data yang sudah diperoleh dikelola ke dalam bentuk kategori, menjabarkan setiap unitnya, dilakukan sintesis, menyusunnya dalam bentuk pola, dan memilih yang dianggap penting untuk dipelajari serta membuat kesimpulan, dengan kesimpulan tersebut memudahkan peneliti maupun para pembaca dalam memahaminya (Sugiyono, 2017).

### a) Uji Kelayakan produk

Hasil produk yang dibuat dinilai oleh tim validator, berdasarkan kriteria pada skala yang berfungsi sebagai pengukur sikap pendapat dan sikap seseorang mengenai fenomena sosial (Sugiyono, 2017). Hasil lembar penilaian validator kemudian dicari persentase kelayakan produk yang dibuat menggunakan Persamaan 3.7.

$$x = \frac{\text{Hasil pengumpulan data}}{\text{Total skala}} \times 100\% \quad (3.7)$$

(Sugiyono, 2017)

Hasil persentase dari validator dikelompokkan pada kriteria interpretasi berdasarkan *skala likert*. Dengan begitu didapatkan kesimpulan mengenai kelayakan media melalui kriteria interpretasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Persentase Kelayakan

Penilaian (%)	Kriteria Interpretasi
$75 < x \leq 100$	Sangat layak
$50 < x \leq 75$	Layak
$25 < x \leq 50$	Cukup
$0 < x \leq 25$	Kurang layak

(Riduwan, 2012)

## b) Analisis Peningkatan Keterampilan Berpikir kritis

## 1) Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui data yang normal atau tidak (Sugiyono, 2017). Rumus yang digunakan dalam uji normalitas yaitu *Shapiro Wilk* (Ramadhani & Bina, 2021). Rumus *Shapiro Wilk* yaitu pada Persamaan 3.8.

$$D = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \quad (3.8)$$

Keterangan:

 $X_i$  : angka ke-i pada data $\bar{X}$  : rata-rata data

Signifikansi pada uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* (*W-test*) yaitu signifikansi uji nilai dibandingkan dengan nilai *Shapiro-Wilk* tabel, untuk melihat posisi nilai probabilitas ( $p$ ).

- 1) Jika nilai  $p > 5\%$ , maka  $H_0$  diterima, dan  $H_a$  ditolak.

2) Jika nilai  $p < 5\%$ , maka  $H_0$  ditolak, dan  $H_a$  diterima.

2) *N-Gain*

Peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik dapat dicari menggunakan nilai *pre-test* dan *post-test*. Peningkatan nilai dapat dilihat dari perbedaan skor *gain-test*. Menurut Hake, RR. (1999) *N-Gain* diformalisasikan dalam bentuk Persamaan 3.9.

$$N\ Gain = \frac{\text{skor posttest} - \text{skor pretest}}{\text{skor maksimum} - \text{skor pretest}} \quad (3.9)$$

Interpretasi dari nilai *gain* disajikan dalam tabel kriteria seperti pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Kriteria <i>N-Gain</i>	
Nilai g	Kriteria
$g > 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq g \leq 0,7$	Sedang
$g < 0,3$	Rendah

(Hake, 1999)

c) Respons Peserta Didik

Respons peserta didik dan pendidik digunakan untuk mengetahui respons peserta didik terhadap penggunaan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality*. Skala yang digunakan untuk mengukur respons peserta didik menggunakan *skala Guttman* (setuju dan tidak setuju).

Perhitungan respons peserta didik dan pendidik menggunakan langkah-langkah berikut:

- 1) Menghitung persentase respons peserta didik pada setiap indikator dengan menggunakan Persamaan 3.10.

$$\% \text{ Setiap indikator} = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan:

A : jumlah peserta didik yang menjawab setuju

B : jumlah peserta didik

- 2) Mengubah skor yang telah didapatkan dalam bentuk kriteria kelayakan. Kriteria kelayakan dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Kriteria Respons Peserta Didik

Skor rata -rata	Kriteria
$76\% < X \leq 100\%$	Sangat Baik (SB)
$51\% < X \leq 76\%$	Baik (B)
$25\% < X \leq 51\%$	Kurang (K)
$0\% < X \leq 25\%$	Sangat Kurang (SK)

(Riduwan & Akdon, 2014)

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Pengembangan Produk Awal**

Hasil penelitian yang dikembangkan adalah bahan ajar yang berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* pada materi gelombang bunyi yang diperuntukkan untuk peserta didik kelas XI SMA/MA. Proses validasi dilakukan pada proses tahap pengembangan untuk mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan. Konten-konten yang disajikan dalam bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* diantaranya adalah apersepsi, penerapan sub materi dalam kehidupan sehari-hari, mari menalar, mari berdiskusi, aktivitas, mari bereksperimen, dan ayo mengamati.

##### **a. Apersepsi**

Konten apersepsi bertujuan untuk memantik peserta didik terkait dengan materi yang akan dipelajari serta untuk mengetahui terkait kesiapan peserta didik sebelum memulai pembelajaran. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam konten apersepsi adalah peserta didik di pantik untuk merefleksikan pengetahuan yang akan atau sedang dipelajari, dan guru berperan menjadi fasilitator sebagai peserta didik.

b. Penerapan sub materi dalam kehidupan sehari-hari

Konten penerapan sub materi dalam kehidupan sehari-hari bertujuan untuk menghubungkan antara sub materi yang akan atau sedang dipelajari dengan kehidupan sehari-hari. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam bahan ajar ini adalah peserta didik dipantik merefleksikan pengetahuan yang sedang dipelajari.

c. Mari menalar/ayu menalar

Mari menalar bertujuan untuk memberikan penalaran tentang materi yang dipelajari. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam bahan ajar adalah pembelajaran yang bersifat fleksibel dan adaptif yang dapat mendorong peserta didik untuk memberikan pemikiran sesuai dengan tingkat kemampuan peserta didik.

d. Ayo mengamati

Ayo mengamati bertujuan untuk mengidentifikasi masalah nyata dan mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam bahan ajar adalah melatih peserta didik untuk mengamati secara detail serta merupakan langkah awal, dalam mengumpulkan data dan informasi yang diperlukan untuk merumuskan hipotesis atau solusi terhadap masalah yang diidentifikasi oleh peserta didik.

e. Mari berdiskusi

Berdiskusi adalah cara untuk mendorong keterlibatan aktif peserta didik dalam menyampaikan pemahaman dan gagasan. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam bahan ajar adalah kemampuan berkolaborasi untuk mencari solusi sehingga mampu menganalisis masalah dari berbagai sudut pandang dan menemukan ide baru dalam memecahkan masalah.

f. Mari bereksperimen

Tujuan dari mari bereksperimen adalah menggabungkan keaktifan peserta didik dalam bereksperimen dengan pendekatan berbasis masalah, sehingga memberikan pengalaman belajar yang mendalam dan kontekstual. Karakteristik model *Problem Based Learning* yang termuat dalam bahan ajar adalah pembelajaran bersifat kontekstual dan berbasis fakta dan peserta didik dipantik untuk mengasah keterampilan ilmiah.

g. Aktivitas

Aktivitas adalah konten yang memuat semua karakteristik model pembelajaran *Problem Based Learning*. Karakteristik tersebut adalah pembelajaran berpusat pada peserta didik yang bertujuan untuk memfasilitasi peserta didik untuk belajar bekerja sama, berpikir kritis, mencari alternatif,

dan menemukan solusi bersama, serta guru berperan sebagai fasilitator.

Tampilan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4. 1.** Tampilan bahan ajar

Tampilan	Bagian Bahan Ajar
	Halaman depan

## Panduan penggunaan bahan ajar

### PANDUAN PENGGUNAAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS

#### A. Bagi Guru

Agar guru berhasil dalam membimbing dan menuntun peserta didik untuk memahami materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang terdapat dalam Bahan Ajar ini, maka ikutilah petunjuk berikut:

1. Bacalah doa terlebih dahulu, agar diberikan kemudahan dan kelancaran oleh Allah.
2. Berikan apresiasi atau pemahaman awal kepada peserta didik saat awal pembelajaran.
3. Berikan bimbingan kepada peserta didik dalam proses belajar.
4. Menjadi fasilitator bagi peserta didik.
5. Membantu peserta didik dalam memecahkan masalah.
6. Melakukan evaluasi dan refleksi

#### B. Bagi Siswa

Agar peserta didik berhasil dalam menguasai materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar ini, dan mampu menerapkan ilmu yang diperolehnya dalam kehidupan sehari-hari, maka ikutilah petunjuk berikut dengan benar, yaitu:

1. Sebelum memulai kegiatan maka awal belajar dengan membaca basmalah dan doa terlebih dahulu.
2. Niatkanlah belajar untuk menuntut ilmu karena Allah SWT.
3. Bacalah bahan bacaan atau materi yang terdapat dalam Bahan Ajar dengan seksama.
4. Berdiskusilah dalam mempelajari Bahan Ajar Bersama seluruh anggota kelompokmu.
5. Lakukanlah setiap kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar dengan bersungguh-sungguh.
6. Utamakan sikap jujur, disiplin, bertanggung jawab, bekerja sama dan saling tolong menolong.
7. Bacalah hamdalah setelah selesai mempelajari Bahan Ajar, agar ilmu yang telah dipelajari diberikan oleh Allah SWT.
8. Melakukan evaluasi dan refleksi

3

### Gelombang Bunyi

#### Capaian Pembelajaran

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisis inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisis sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisis. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar Pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

#### Tujuan Pembelajaran

Melalui kegiatan pembelajaran dengan model *Problem Based Learning* peserta didik dapat:

1. Menerapkan konsep gelombang bunyi
2. Menganalisis karakteristik gelombang bunyi
3. Menjelaskan syarat-syarat terjadinya bunyi dengan tepat
4. Menganalisis jenis bunyi berdasarkan frekuensinya
5. menyelidiki perbedaan cepat rambat bunyi pada zat padat, zat cair dan gas
6. Menganalisis dawul, pipa organa, taraf intensitas, dan efek doppler.
7. Melakukan percobaan gelombang bunyi dengan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab memiliki sikap responsif (berpikir kritis) dan proaktif

#### Profil Pelajar Pancasila

dalam kegiatan pembelajaran sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila:

1. Menetapkan tujuan dan rencana, serta mengembangkan kendali dan disiplin diri (Mandiri).
2. Menunjukkan kolaborasi dan komunikasi untuk tujuan bersama (Bergotong-royong)
3. Memperoleh dan mengolah informasi serta menganalisis, mengevaluasi, merefleksikan, dan mengevaluasi pikirannya sendiri (Bernalar kritis)

4

## CP, TP, dan Profil Pelajar Pancasila



## Sub materi klasifikasi gelombang bunyi

### 3. Getaran

Sumber bunyi harus bergetar. Getaran ini menciptakan perubahan tekanan di sekitarnya yang merambat dalam bentuk gelombang melalui medium. Getaran ini merupakan inti dari proses pembentukan bunyi.

Penerima Bunyi: Untuk mendengar bunyi, ada harus adanya penerima atau pendengar yang dapat menangkap gelombang bunyi. Penerima ini, seperti telinga manusia atau mikrofon, akan mengubah gelombang bunyi menjadi sinyal yang bisa diproses atau didengar.

### 4. Lingkungan

Lingkungan di sekitar juga dapat mempengaruhi cara bunyi didengar. Misalnya, suhu, kelembapan, dan tekanan udara dapat memengaruhi kecepatan bunyi. Begitu juga dengan kondisi lingkungan seperti adanya penghalang atau pantulan, yang dapat memengaruhi persepsi dan kualitas bunyi.

Ketika semua syarat ini terpenuhi, bunyi bisa dihasilkan dan didengar oleh pendengar.



Mari Menalar

Apakah astronot bisa berkomunikasi dengan astronot lain? Jelaskan hal tersebut bisa terjadi menggunakan teori fisika!

### B. Klasifikasi Gelombang Bunyi

Berdasarkan frekuensinya, gelombang bunyi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik.

#### 1. Infrasonik (<math>< 20\text{Hz}</math>)

Tidak ada suara yang kita dengar bukan berarti tidak ada bunyi sama sekali. Namun, kemungkinan bunyi tersebut berada di luar rentang pendengaran manusia. Bunyi infrasonik memiliki frekuensi di bawah 20 hertz sedangkan manusia baru bisa mendengar pada rentang 20 hertz ke atas (Encyclopedia Britannica). Contoh bunyi infrasonik dalam kehidupan sehari-hari adalah:



Gambar 3. Hutan-hutan hewan yang mengeluarkan bunyi infrasonik

7

## Fitur bahan ajar “Mari Berdiskusi”



Mari Berdiskusi

1. Apa saja klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi? Jelaskan perbedaan masing-masing klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi!
2. Bagaimana perbedaan bunyi menurut pengamat saat siang ataupun malam?

### C. Dawai

Coba Anda kamsi memetik gitar dengan lebih kencang, pasti suaranya lebih nyaring. Bandingkan dengan petikan yang lembut dan pelan, pasti bunyi yang keluar akan lebih rendah. Mengapa demikian?



Gambar 4. Gitar berunyi: <https://www.shutterstock.com>

Ketika Anda memainkan gitar di bagian depan (dekat leher gitar), pasti bunyinya nyaring. Itu artinya, semakin pendek jarahnya, frekuensinya semakin tinggi (berbanding terbalik). Begitu pula dengan massa jenis, dan luas permukaan senarnya. Yang dimaksud dengan luas permukaan senar di sini penampang dari senar / dawai dan tentu kecil sekali kan penampangnya? Artinya, semakin kecil luas permukaannya maka frekuensinya besar. Adapun variabel yang berbanding lurus terhadap frekuensi adalah gaya.

Gitar adalah salah satu alat musik yang menggunakan dawai sebagai sumber bunyinya. Saat senar gitar dipetik dengan jalan menekan bagian tertentu, maka akan menghasilkan nada-nada yang berbeda. Nada yang dihasilkan dengan pola paling sederhana disebut nada dasar, kemudian secara berturut-turut pola gelombang yang terbentuk menghasilkan nada atas ke 1, nada atas ke 2, nada atas ke 3 dan seterusnya. Baca dengan baik uraian tentang nada-nada pada dawai.

11

## Sub materi dawai

### Mari Berdiskusi

1. Apa saja klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi? jelaskan perbedaan masing-masing klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi!
2. Bagaimana perbedaan bunyi menurut pengamat saat siang ataupun malam?

### C. Dawai

Coba Anda kama memetik gitar dengan lebih kencang, pasti suaranya lebih nyaring. Bandingkan dengan petikan yang lembut dan pelan, pasti bunyi yang keluar akan lebih rendah. Mengapa demikian?



Gambar 4. Gitar Sumber: <https://imabhoten.galican.sakat.com>

Ketika Anda memainkan gitar di bagian depan (dekat leher gitar), pasti bunyinya nyaring. Itu artinya, semakin pendek jaraknya, frekuensinya semakin tinggi (berbanding terbalik). Begitu pula dengan massa jenis, dan luas permukaan senarnya. Yang dimaksud dengan luas permukaan senar di sini penampang dari senar / dawai dan tentu kecil sekali kan penampangnya? Artinya, semakin kecil luas permukaannya maka frekuensinya besar. Adapun variabel yang berbanding lurus terhadap frekuensi adalah gaya.

Gitar adalah salah satu alat musik yang menggunakan dawai sebagai sumber bunyinya. Saat senar gitar dipetik dengan jalan menekan bagian tertentu, maka akan menghasilkan nada-nada yang berbeda. Nada yang dihasilkan dengan pola peting selarhana disebut nada dasar, kemudian secara berturut turut pola gelombang yang terbentuk menghasilkan nada atas ke 1, nada atas ke 2, nada atas ke 3 dan seterusnya. Raca dengan baik urutan terentang nada-nada pada dawai.

11

## Fitur bahan ajar “Aktivitas”

### Aktivitas

Coba lakukan percobaan ini secara berkelompok



- Siapkan gitar, sebuah capo (opsional), dan sebuah aplikasi frekuensi meter.
- Bunyikan senar dari paling atas, catat semua frekuensinya menggunakan tuner.
- Lakukan eksperimen dengan senar yang sama dan divariasikan (senar 1 sebagai contoh).
- Seketang lakukan pada senar yang sama, gunakan capo / ditekan dengan tangan untuk memendekkan senar dari leher gitar.

### Lembar Kerja

Percobaan	Panjang	Frekuensi
1		
2		
3		
4		
5		

Pertanyaan:

1. Bagaimana hubungan antara panjang senar dengan frekuensi?
2. Bagaimana frekuensi bunyi ketika panjang senar diperpendek ataupun diperpanjang?

Kesimpulan yang didapat dari hasil eksperimen adalah

.....

.....

.....

.....

11



## Sub materi intensitas dan taraf intensitas

### E. Intensitas dan Taraf Intensitas

#### 1. Intensitas Bunyi



Gambar 14. Ilustrasi anak berteriak ke sekolah

Ketika bel tanda masuk sekolah berdering, pernahkah Anda tidak mendengarnya dengan jelas? Kira-kira kenapa hal itu bisa terjadi? Intensitas adalah besaran untuk mengukur kenyaringan bunyi. Intensitas bunyi yaitu energi bunyi yang tiap detik (daya bunyi) yang menembus bidang setiap satuan luas permukaan secara tegak lurus.

Rumus intensitas bunyi di suatu titik oleh beberapa sumber bunyi

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (17)$$

Keterangan:

$I$  = Intensitas Bunyi ( $W/m^2$ )

$P$  = Energi tiap waktu atau daya ( $W$ )

$A$  = Luas ( $m^2$ )

Dapat diketahui intensitas gelombang bunyi pada suatu titik berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari sumber bunyi, maka perbandingan intensitas bunyi di dua tempat yang berbeda jaraknya terhadap satu sumber bunyi adalah :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (18)$$

Ternyata kuat bunyi yang terdengar oleh telinga tidak berbanding lurus dengan besarnya intensitas bunyi. Misalnya, jika intensitas awal  $10^{-10} W/m^2$  dan dinaikkan menjadi  $2 \times 10^{-10} W/m^2$ , ternyata telinga kita tidak mendengar bunyi dua kali lebih kuat, bahkan telinga masih mendengar bunyi yang hampir sama kuatnya. Oleh karena itu, jergkungan intensitas bunyi yang dapat didengar manusia sangat besar maka dibuatlah suatu besaran yang menyatakan intensitas dalam

19

## Fitur bahan ajar “Ayo Menalar”

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{640\pi}{4\pi \cdot 16} = 10 W/m^2$$

$$Tf = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{10}{10^{-12}} = 10 \log 10^{13} = 10 \cdot 13.1 = 130$$

3. Taraf intensitas bunyi pada jarak 1 meter dari sumber bunyi adalah 80dB.

Tentukan taraf intensitas pada jarak 10 meter dari sumber bunyi!

Diketahui:

$R_1 = 1$  meter

$R_2 = 10$  meter

$Tf_1 = 80$  dB

Ditanya:  $Tf_2$  ...?

Penyelesaian:

$$Tf_2 = Tf_1 + 20 \log \frac{R_1}{R_2}$$

$$= 80 + 20 \log \frac{1}{10}$$

$$= 80 + 20 \cdot -1$$

$$= 80 - 20$$

$$Tf_2 = 60 \text{ dB}$$

Ayo menalar



pada suatu hari di ada 2 buah mobil taksi membunyikan klakson dengan frekuensi masing mobil 60 dB, kemudian sirine polisi dibunyikan dengan intensitas 150 dB, bagaimana pendapat kamu tentang ketiga klakson transportasi tersebut? apakah sirine polisi memiliki taraf intensitas sama dengan kedua taksi digabungkan?

### F. Efek Doppler

Perhatikan gambar kereta api di samping. Analogikan kecepatan kereta identik dengan kecepatan rambut gelombang. Panjang gerbong kereta api sekitar 12,5 meter. Jika kereta bergerak dengan kecepatan 72 km/jam = 20 m/s maka kita dapat identik dengan gelombang sebagai berikut :



Gambar 15. Kereta api dideteksi dengan gelombang bunyi. (http://jurnal.uns.ac.id/10-2006)

$\lambda = 12,5$  m

$v = 20$  m/s

Maka frekuensi gelombang adalah

$$f = v \cdot \lambda = 20 \cdot 12,5 = 1,6 \text{ Hz.}$$

Ini artinya, tiap gerbong akan melewati kita yang sedang berdiri setiap 0,625 detik.

21

## Sub materi efek doppler

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{640\pi}{4\pi \cdot 16} = 10 \text{ W/m}^2$$

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{10}{10^{-12}} = 10 \log 10^{13} = 10 \cdot 13.1 = 130$$

3. Taraf intensitas bunyi pada jarak 1 meter dari sumber bunyi adalah 80dB. Tentukan taraf intensitas pada jarak 10 meter dari sumber bunyi!

Diketahui :

$$R_1 = 1 \text{ meter} \quad TI_1 = 71 + 20 \log \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_2 = 10 \text{ meter} \quad = 80 + 20 \log \frac{1}{10}$$

$$TI_1 = 80 \text{ dB} \quad = 80 + 20 \cdot -1.1$$

Ditanya:  $TI_2$  ...?

$$TI_2 = 60 \text{ dB}$$

Penyelesaian:

Ayo menalar



pada suatu hari di ada 2 buah mobil taksi membunyikan klakson dengan frekuensi masing2 mobil 60 dB. kemudian sirine polisi dibunyikan dengan intensitas 150 dB. bagaimana pendapat kamu tentang ketiga klakson transportasi tersebut? apakah sirine polisi memiliki taraf intensitas sama dengan kedua taksi digabungkan?

### F. Efek Doppler

Perhatikan gambar kereta api di samping. Analogikan kecepatan kereta identik dengan kecepatan rambat gelombang. Panjang gerbong kereta api sekitar 12.5 meter. Jika kereta bergerak dengan kecepatan 72 km/jam = 20 m/s maka kita dapat identikkan dengan gelombang sebagai berikut :



Gambar 15. Kereta api dilentikkan dengan gelombang sumber <https://profrika.org/?p=2984>

$$\lambda = 12.5 \text{ m}$$

$$v = 20 \text{ m/s}$$

Maka frekuensi gelombang adalah

$$f = v \cdot \lambda = 20 \cdot 12.5 = 1.6 \text{ Hz.}$$

Ini artinya, tiap gerbong akan melewati kita yang sedang berdiri setiap 0.625 detik.

21

## Fitur bahan ajar “Ayo Mengamati”



Gambar 16. Skema arah terjadinya efek doppler

### Contoh Soal

1. Sumber bunyi memancarkan bunyi dengan frekuensi 500Hz saling mendekat dengan pendengar. Kecepatan sumber bunyi 40 m/s dan kecepatan pendengar 50 m/s. Jika kecepatan bunyi di udara adalah 340 m/s, frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar adalah...

Diketahui:

$$f_s = 500 \text{ Hz}$$

$$v_s = 40 \text{ m/s (sumber bunyi mendekati pendengar (-))}$$

$$v_p = 50 \text{ m/s (pendengar mendekati sumber bunyi (+)) } v = 340 \text{ m/s}$$

Ditanya:  $f_p$ ?

Jawab:

$$\frac{v + v_p}{v - v_s} f_s = f_p$$

$$\frac{340 + 50}{340 - 40} 500 = f_p$$

$$\frac{390}{300} 500 = f_p$$

$$650 \text{ Hz} = f_p$$

Ayo mengamati



Scan gambar di samping menggunakan aplikasi Assemblr- Edu. Sebuah speedboat yang sedang melaju dengan kelajuan 40 km/jam. Sebuah tona yang tidak bergerak sambil berteriak dengan frekuensi 500Hz. Jika cepat rambat bunyi diudara saat itu 340m/s, terangkan frekuensi yang didengar oleh pengendara speedboat itu saat:

- mendekati tona
- menjauhi tona

22

## Halaman latihan soal

- Latihan Soal
- (1) Merambat melalui ruang hampa  
(2) Membutuhkan medium untuk merambat  
(3) Termasuk gelombang elektromagnetik  
(4) Arah rambatnya sejajar  
Pernyataan tentang gelombang bunyi di bawah ini yang benar adalah...  
A.1 dan 2  
B.2 dan 3  
C.1 dan 3  
D.2 dan 4  
E.1 dan 4
  - Tinggi rendahnya nada dipengaruhi oleh...  
A. amplitudo  
B. cepat rambat gelombang  
C. medium  
D. frekuensi  
E. panjang gelombang
  - Seputong dawai yang panjangnya 80 cm dan massanya 16 gram dijepit kedua ujungnya dan terentang tegang dengan tegangan 800 N . Frekuensi nada dasar yang dihasilkan adalah...  
A. 125 Hz  
B. 150 Hz  
C. 250 Hz  
D. 300 Hz  
E. 375 Hz
  - Seutas dawai memiliki panjang 80 cm dan massa 16 gram. Kedua ujung dawai dijepit sehingga menghasilkan tegangan sebesar 800 N . Frekuensi nada kedua yang dihasilkan adalah ...  
A.125 Hz  
B.150 Hz  
C.250 Hz  
D.300 Hz

## Glosarium dan daftar pustaka

### GLOSARIUM

Amplitudo	: Simpangan maksimum suatu gelombang atau getaran
Cepat Rambat Bunyi	: Panjang gelombang bunyi per satuan waktu
Desibel	: Ukuran taraf intensitas bunyi
Efek Doppler	: Peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar penerima bunyi ketika sumber bunyi bergerak mendekati atau menjauh
Frekuensi	: Banyaknya getaran dalam tiap sekon
Gelombang	: Getaran yang merambat
Gelombang Bunyi	: Gelombang yang merambat dari benda yang bergetar
Gelombang Mekanik	: Gelombang yang membutuhkan medium dalam perambatannya
Gelombang Longitudinal	: Gelombang yang arah getarannya sejajar dengan arah rambatannya
Intensitas	: Energi bunyi yang tiap detik (daya bunyi) yang menembus bidang setiap satuan luas permukaan secara tegak lurus
Pipa Organa	: Pipa yang mengeluarkan suara pada nada tertentu ketika ada aliran udara yang ditupiskan pada rekaman tertentu
Suhu	: Ukuran panas dingin suatu benda
Taraf Intensitas	: Logaritma perbandingan antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang pendengaran

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). Fisika Dasar II. Bandung: ITR.
- Amalia, R. Latihan Soal Gelombang Bunyi. QUIZZZ. (Accessed 2024/09/20)
- Anissa, Isi (2020). Modul Pembelajaran SMA FISIKA. Probinggo
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Boyle's law". Encyclopaedia Britannica, 20 Oct. 2022. <https://www.britannica.com/science/Boyles-law>.
- Kangenan, Marthen. 2016. Fisika untuk SMA Kelas XII. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Kemendikbudristek (2020). FISIKA, Jakarta Selatan: Pusat Perbukuan.
- Widodo, Tri. 2009. Fisika : Untuk SMA / MA Kelas X. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

## **B. Hasil Uji Coba Produk**

Hasil uji coba produk didapat melalui proses pengembangan yang telah dilakukan seperti uji kelayakan terhadap instrumen, materi, dan media.

### **1. Analisis Data Uji Kelayakan**

#### **a) Analisis Hasil Validasi Ahli Materi**

Analisis data hasil validasi materi digunakan untuk mengukur tingkat kevalidan dari materi yang diangkat pada bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning*. Validasi ahli materi dilakukan oleh tiga validator yang memiliki kompetensi dalam bidang fisika. Hasil validasi materi dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek	Indikator	Butir penil- aian	V1	V2	V3	SM	%	Ket.
Standar Kelayakan Isi	Kebernaan dari segi keilmuan	1	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
	Kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku	2	4	4	4	12	100%	Sangat layak
	Kesesuaian dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	3	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
	Kesesuaian dengan konteks dan lingkungan	4	4	4	4	12	100%	Sangat layak
	Kusatupadukan antar bagian isi	5	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak
Kelayakan penyampaian isi bahan ajar	Penyampaian pola isi buku sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi dan kemampuan berbahasa peserta didik	6	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak
	Penggunaan bahasa yang tepat dan komunikatif pada bahan ajar sesuai dengan tingkat penguasaan bahasa peserta didik	7	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak
Kelayakan penggunaan bahasa bahan ajar	Penggunaan bahasa yang tepat dan komunikatif pada bahan ajar sesuai dengan tingkat penguasaan bahasa peserta didik	8	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	9	3	3	3	12	75%	Layak
Komponen keterampilan berpikir kritis	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	10	4	2	3	12	75%	Layak
<b>Rata-rata</b>			<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	<b>12</b>	<b>90%</b>	<b>Sangat layak</b>

Keterangan :

V1 : validator 1

V2 : validator 2

V3 : validator 3

Berdasarkan hasil yang diperoleh, penilaian validasi materi menggunakan 10 butir penilaian untuk mengetahui kelayakan materi yang dikembangkan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penilaian materi oleh validator 1 mendapatkan skor rata-rata 3,6 dari skor maksimal 4 dengan persentase 90% dan termasuk dalam kategori sangat layak. Penilaian validator 2 mendapatkan skor rata-rata 3,4 dari skor maksimal 4 dengan persentase 85% dan termasuk dalam kategori sangat layak juga. Sedangkan penilaian materi yang diperoleh dari validator 3 mendapatkan skor rata-rata 3,8 dengan persentase 95% dan termasuk dalam kategori sangat layak.

b) Analisis Hasil Validasi Ahli Media

Analisis validasi media digunakan untuk mengukur kelayakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dari standar desain dan standar grafika yang tertuang dalam 9 butir penilaian. Hasil validasi ahli media dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Validasi Ahli Media

<b>Butir penilaian</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>SM</b>	<b>%</b>	<b>Kategori</b>
Ketepatan objek ilustrasi	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
Kemenerikan ilustrasi	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kejelasan dan keterbacaan	3	3	4	12	83,4%	Sangat layak
Kemenerikan halaman depan	4	4	3	12	91,7%	Sangat layak
Kejelasan dan keterbacaan halaman depan	4	4	4	12	100%	Sangat layak
Kualitas format/ukuran bahan ajar	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kualitas cetak	3	3	3	12	75%	Layak
Keterbacaan pada perangkat	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kemudahan dalam penggunaan	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
<b>Rata-rata</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>12</b>	<b>87,5%</b>	<b>Sangat layak</b>

Keterangan :

V1 : validator 1

V2 : validator 2

V3 : validator 3

Berdasarkan hasil yang diperoleh, penilaian validasi materi menggunakan 9 butir penilaian untuk mengetahui kelayakan media yang dikembangkan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penilaian media oleh validator 1 mendapatkan skor rata-rata 3,8 dari skor maksimal 4 dengan persentase 95% dan termasuk dalam kategori sangat layak. Penilaian validator 2 mendapatkan skor rata-rata 3,3 dari skor maksimal 4 dengan persentase 82,5% dan termasuk dalam kategori sangat layak juga. Sedangkan penilaian materi yang diperoleh dari validator 3

mendapatkan skor rata-rata 3,4 dengan persentase 85% dan termasuk dalam kategori sangat layak.

## 2. Analisis Hasil Respons Peserta Didik

Respons peserta didik diperoleh setelah peserta didik melakukan pembelajaran dengan menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning*. Proses untuk memperoleh respons peserta didik terhadap bahan ajar yang dikembangkan. Analisis respons oleh peserta didik terhadap bahan ajar yang dikembangkan. Analisis respons menggunakan Persamaan 3.6. Hasil respons peserta didik terhadap bahan ajar yang di kembangkan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Respons Peserta Didik

No	Respons	Frekuensi
1	Sangat Baik	27
2	Baik	2
3	Kurang	-
4	Sangat Kurang	-
Persentase rata-rata	90,42% (kategori Sangat Baik)	

Berdasarkan analisis yang dilakukan, mendapatkan hasil persentase respons peserta didik terhadap bahan ajar yang dikembangkan sebesar 90,42% dan termasuk dalam kategori “Sangat Baik”. Hal tersebut menunjukkan bahwa bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* mendapatkan respons positif dari peserta didik.

### 3. Analisis Uji Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

#### a) Uji Normalitas

Tujuan dari uji normalitas adalah untuk mengetahui data yang diperoleh normal atau tidak. Penelitian ini menggunakan *Software SPSS 27* dengan mengikuti *Saphiro Wilk* untuk menyelesaikan uji normalitas. Uji normalitas dilakukan terhadap nilai *pre-test* dan *post-test* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Uji normalitas dilakukan pada nilai *pre-test* dan *post-test* peserta didik kelas XI.2 MA NU Al Hikmah Semarang. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Normalitas

Hasil	(Sig.)	Klasifikasi
Pretest	0,777	Normal
Posttest	0,280	Normal

Berdasarkan perhitungan pada tabel 4.5 hasil uji normalitas keseluruhan dengan menggunakan uji *Saphiro Wilk* hasil analisis pada *pre-test* (Sig.)  $0,777 > 0,05$  dan *post-test* (Sig.)  $0,280 > 0,05$ . Sehingga data yang terdistribusi normal. Hasil uji normalitas secara rinci dapat dilihat di Lampiran 21.

b) Uji *N-Gain*

Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu uji *N-Gain*. Tujuan dari uji *N-Gain* untuk mengetahui kemampuan berpikir kritis peserta didik yang meningkat setelah diberikan pembelajaran dengan menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning*. Analisis *N-Gain* sesuai dengan Persamaan 3.8 dan Uji *N-Gain* dilakukan dengan menggunakan *Software IBM SPSS Statistics 27*. Hasil uji *N-Gain* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji *N-Gain*

Hasil	N	Klasifikasi
N-Gain	29	.6708
N-Gain%	29	67,08

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 4.6 maka dapat diketahui bahwa skor *N-Gain* diperoleh sebesar 0,6708 dengan kategori sedang. Hal tersebut menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis peserta didik mengalami peningkatan setelah menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning*. Hasil uji *N-Gain* secara rinci dapat dilihat di Lampiran 22.

c) Analisis Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik

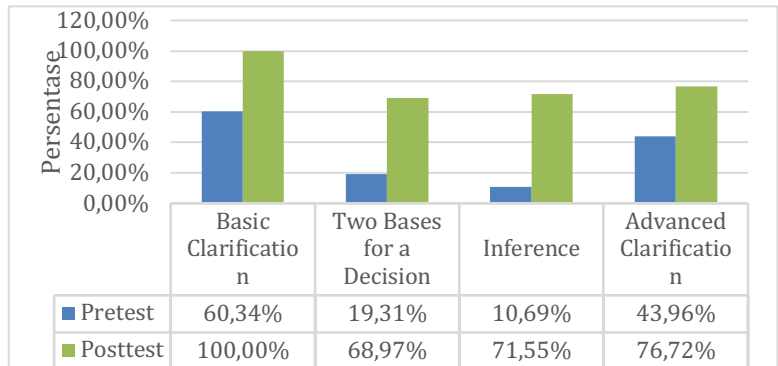
Peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik dapat diukur melalui *pre-test* dan *post-test*. Soal yang

diberikan kepada peserta didik yang memuat indikator kemampuan berpikir kritis. Indikator kemampuan berpikir kritis yang terkandung dalam *pre-test* dan *post-test* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Indikator KBK dalam Soal

No	Indikator	No. Soal
1	Fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen	7
2	Mempertimbangkan kredibilitas sumber	4 dan 11
3	Menginvestigasi dan membuat kesimpulan	9 dan 10
4	Mengidentifikasi dan menalar dari asumsi	1 dan 3

Berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test* yang dilakukan peserta didik. Terdapat kenaikan pada setiap butir soal dan indikatornya. Persentase setiap indikator pada saat *pre-test* dan *post-test* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Persentase KBK pada *pre-test* dan *post-test*

Berdasarkan pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik masing-masing indikator keterampilan berpikir kritis yang digunakan dalam *pre-test* dan *post-test* mengalami kenaikan. Indikator fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen mengalami kenaikan sebesar 39,66%, indikator mempertimbangkan kredibilitas sumber mengalami kenaikan sebesar 49,66%, indikator menginvestigasi dan membuat kesimpulan mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 60,86%, sedangkan indikator mengidentifikasi dan menalar dari asumsi sebesar mengalami kenaikan sebesar 32,76%.

### **C. Revisi Produk**

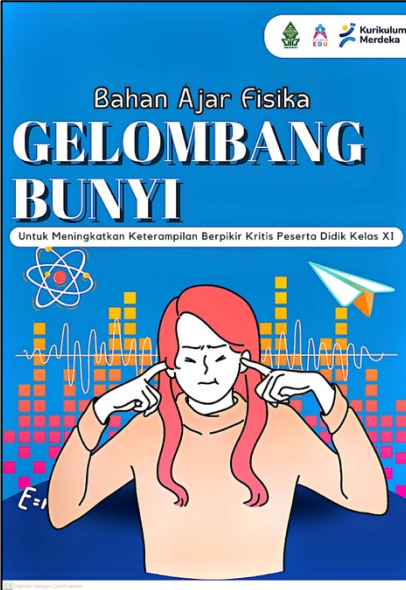
Revisi produk bertujuan untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Hal tersebut dilakukan untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Proses validasi materi dan media, para ahli memberikan masukan dan saran demi kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.

#### **1. Revisi Ahli Media**

Revisi yang diberikan oleh ahli media antara lain :

- a) *Cover*/halaman depan


Revisi pada *cover* yaitu mengecilkan ilustrasi dengan menambahi keterangan seperti Gambar 4.2.

	<p>Sebelum Revisi</p>
	<p>Sesudah Revisi</p>

Gambar 4.2 Revisi Cover/Halaman Depan


b) Instrumen Latihan Soal

Instrumen pada latihan soal, perlu adanya perbaikan pada pilihan ganda yang menggunakan huruf kecil diganti dengan huruf kapital.

Latihan Soal

---

1. (1) Merambat melalui ruang hampa  
(2) Membutuhkan medium untuk merambat  
(3) Termasuk gelombang elektromagnetik  
(4) Arah rambatnya sejajar  
Pernyataan tentang gelombang bunyi di bawah ini yang benar adalah...
  - a. 1 dan 2
  - b. 2 dan 3
  - c. 1 dan 3
  - d. 2 dan 4
  - e. 1 dan 4
  
2. Tinggi rendahnya nada dipengaruhi oleh...
  - a. Amplitudo
  - b. Cepat rambat gelombang
  - c. Medium
  - d. Frekuensi
  - e. Panjang gelombang
  
3. Sepotong dawai yang panjangnya 80 cm dan massanya 16 gram dijepit kedua ujungnya dan terentang tegang dengan tegangan 800 N . Frekuensi nada dasar yang dihasilkan adalah...
  - a. 125 Hz
  - b. 150 Hz
  - c. 250 Hz
  - d. 300 Hz
  - e. 375 Hz
  
4. Seutas dawai memiliki panjang 80 cm dan massa 16 gram. Kedua ujung dawai dijepit sehingga menghasilkan tegangan sebesar 800 N . Frekuensi nada kedua yang dihasilkan adalah ....
  - a. 125 Hz
  - b. 150 Hz
  - c. 250 Hz
  - d. 300 Hz



Sebelum Revisi



1. (1) Merambat melalui ruang hampa  
(2) Membutuhkan medium untuk merambat  
(3) Termasuk gelombang elektromagnetik  
(4) Arah rambatnya sejajar  
Pernyataan tentang gelombang bunyi di bawah ini yang benar adalah...
  - A.1 dan 2
  - B.2 dan 3
  - C.1 dan 3
  - D.2 dan 4
  - E.1 dan 4
2. Tinggi rendahnya nada dipengaruhi oleh...
  - A. amplitudo
  - B. cepat rambat gelombang
  - C. medium
  - D. frekuensi
  - E. panjang gelombang
3. Sepotong dawai yang panjangnya 80 cm dan massanya 16 gram dijepit kedua ujungnya dan terentang tegang dengan tegangan 800 N . Frekuensi nada dasar yang dihasilkan adalah...
  - A. 125 Hz
  - B. 150 Hz
  - C. 250 Hz
  - D. 300 Hz
  - E. 375 Hz
4. Seutas dawai memiliki panjang 80 cm dan massa 16 gram. Kedua ujung dawai dijepit sehingga menghasilkan tegangan sebesar 800 N . Frekuensi nada kedua yang dihasilkan adalah ....
  - A.125 Hz
  - B.150 Hz
  - C.250 Hz
  - D.300 Hz

Sesudah Revisi  
Gambar 4.3 Revisi Instrumen Soal

c) Ilustrasi

Revisi bahan ajar pada ilustrasi ditujukan pada Gambar 4.4 (nada atas kedua).

$$f_1 = \frac{3v}{4L} \quad (11)$$

**2. Pipa Organa Terbuka**

a) Nada Dasar

Jika sepanjang pipa organa terbentuk 1/2 gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada dasar.

$$L = \frac{1}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = 2L$$

sehingga persamaan frekuensi nada dasar untuk pipa organa terbuka.

$$f_0 = \frac{v}{2L} \quad (12)$$



Gambar 11. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamm4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

b) Nada Atas ke 1

Jika sepanjang pipa organa terbentuk 1 gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 1.

$$L = 1 \lambda \text{ maka } \lambda = L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 1 untuk pipa organa terbuka.

$$f_0 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}$$



Gambar 12. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamm4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

c) Nada Atas ke 2

Jika sepanjang pipa organa terbentuk 3/2 gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 2.

$$L = \frac{3}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = \frac{2}{3} L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 2 untuk pipa organa terbuka.



Gambar 13. Ilustrasi Nada Atas kedua Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamm4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

$$f_1 = \frac{3v}{4L} \quad (11)$$

## 2. Pipa Organa Terbuka

### a) Nada Dasar

Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $1/2$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada dasar.

$$L = \frac{1}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = 2L$$

sehingga persamaan frekuensi nada dasar untuk pipa organa terbuka.

$$f_0 = \frac{v}{2L} \quad (12)$$

### b) Nada Atas ke 1

Jika sepanjang pipa organa terbentuk 1 gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 1.

$$L = 1 \lambda \text{ maka } \lambda = L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 1 untuk pipa organa terbuka.

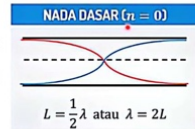
$$f_0 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}$$

### c) Nada Atas ke 2

Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $3/2$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 2.

$$L = \frac{3}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = \frac{2}{3} L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 2 untuk pipa organa terbuka.



Gambar 11. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM7si> X3YA051YKAT4-bVm



Gambar 12. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM7si> X3YA051YKAT4-bVm



Gambar 13. Ilustrasi Nada Atas kedua Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM7si> X3YA051YKAT4-bVm

d) Tambahkan ilustrasi AR pada masing-masing sub-materi

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1} \quad (8)$$

dan

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v \quad (9)$$

**PERHATIAN!!!**

Nada harmonik pertama adalah nada dasar ( $n=0$ ), nada harmonik kedua adalah nada atas pertama ( $n=1$ ), dst.

**Contoh Soal**

Sebuah senar bermassa 20 gram yang panjangnya 1 meter ditegangkan dengan gaya 800 N. Tentukan frekuensi nada dasar dan nada atas ketiga!

Diketahui:

$$m = 20 \text{ g} = 2 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$F = 800 \text{ N}$$

Ditanya:  $f_0$  dan  $f_3$ ?

Jawab:

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$v = \sqrt{\frac{800 \cdot 1}{2 \times 10^{-2}}}$$

$$f_3 = \frac{3+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_3 = 400 \text{ Hz}$$

$$v = 200 \text{ m/s}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$f_0 = \frac{0+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_0 = 100 \text{ Hz}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1} \quad (8)$$

dan

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v \quad (9)$$

**PERHATIAN!!!**

Nada harmonik pertama adalah nada dasar ( $n=0$ ), nada harmonik kedua adalah nada atas pertama ( $n=1$ ), dst.

**Contoh Soal**

Sebuah senar bermassa 20 gram yang panjangnya 1 meter ditegangkan dengan gaya 800 N. Berapa frekuensi nada dasar dan nada atas ketiga!

Diketahui:

$$m = 20 \text{ g} = 2 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$F = 800 \text{ N}$$

Ditanya:  $f_0$  dan  $f_3$ ?

Jawab:

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{800 \cdot 1}{2 \times 10^{-2}}}$$

$$v = 200 \text{ m/s}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$f_0 = \frac{0+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_0 = 100 \text{ Hz}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$f_3 = \frac{3+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_3 = 400 \text{ Hz}$$



## 2. Revisi Ahli Materi

Terdapat beberapa revisi yang diberikan oleh ahli materi saat validasi yang harus diperbaiki. Revisi tersebut antara lain, pada petunjuk panduan penggunaan bahan ajar bagi guru memakai kalimat pasif. Selain itu, pada tujuan pembelajaran penambahan keterangan besaran fisika, rumus pada persamaan, dan kata “tentukan” diganti dengan “berapa”. Revisi ahli materi dapat dilihat pada gambar 4.6 sampai 4.10.

### Gelombang Bunyi

**Capaian Pembelajaran**

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisika sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisika. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

**Tujuan Pembelajaran**


Melalui kegiatan pembelajaran dengan model *Problem Based Learning* peserta didik dapat:

1. Menganalisis karakteristik gelombang bunyi
2. Menjelaskan syarat-syarat terjadinya bunyi dengan tepat
3. Menganalisis bunyi berdasarkan frekuensi
4. menyelidiki perbedaan cepat rambat bunyi pada zat padat, zat cair dan gas
5. Menganalisis dawai, pipa organa, taraf intensitas, dan efek doppler.
6. Melakukan percobaan gelombang bunyi dengan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab memiliki sikap responsif (berpikir kritis) dan proaktif

**Profil Pelajar Pancasila**

Dalam kegiatan pembelajaran sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila:

1. Menetapkan tujuan dan rencana, serta mengembangkan kendali dan disiplin diri (Mandiri).
2. Menunjukkan kolaborasi dan komunikasi untuk tujuan bersama (Bergotong-royong)
3. Memperoleh dan mengolah informasi serta menganalisis, mengevaluasi, merefeksi, dan mengevaluasi pikirannya sendiri (Bernalar kritis)



Sebelum Revisi

## Gelombang Bunyi

### Capaian Pembelajaran

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisika sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisika. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar Pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

### Tujuan Pembelajaran

Melalui kegiatan pembelajaran dengan model *Problem Based Learning* peserta didik dapat:

1. Menerapkan konsep gelombang bunyi
2. Menganalisis karakteristik gelombang bunyi
3. Menjelaskan syarat-syarat terjadinya bunyi dengan tepat
4. Menganalisis jenis bunyi berdasarkan frekuensi
5. menyelidiki perbedaan cepat rambat bunyi pada zat padat, zat cair dan gas
6. Menganalisis dawai, pipa organa, taraf intensitas, dan efek doppler.
7. Melakukan percobaan gelombang bunyi dengan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab memiliki sikap responsif (berpikir kritis) dan proaktif

### Profil Pelajar Pancasila

Dalam kegiatan pembelajaran sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila:

1. Menetapkan tujuan dan rencana, serta mengembangkan kendali dan disiplin diri (Mandiri).
2. Menunjukkan kolaborasi dan komunikasi untuk tujuan bersama (Bergotong-royong)
3. Memperoleh dan mengolah informasi serta menganalisis, mengevaluasi, merefeksi, dan mengevaluasi pikirannya sendiri (Bernalar kritis)

**PANDUAN PENGGUNAAN BAHAN AJAR  
BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED  
LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS**

**A. Bagi Guru**

Agar guru berhasil dalam membimbing dan menuntun peserta didik untuk memahami materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang terdapat dalam Bahan Ajar ini, maka ikutilah petunjuk berikut:

1. Bacalah doa terlebih dahulu, agar diberikan kemudahan dan kelancaran oleh Allah.
2. Berikan apersepsi atau pemahaman awal kepada peserta didik saat awal pembelajaran.
3. Berikan bimbingan kepada peserta didik dalam proses belajar.
4. Menjadi fasilitator bagi peserta didik.
5. Membantu peserta didik dalam memecahkan masalah.
6. Melakukan evaluasi dan refleksi

**B. Bagi Siswa**

Agar peserta didik berhasil dalam menguasai materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar ini, dan mampu menerapkan ilmu yang diperolehnya dalam kehidupan sehari-hari, maka ikutilah petunjuk berikut dengan benar, yaitu:

1. Sebelum memulai kegiatan maka awali belajar dengan membaca basmalah dan doa terlebih dahulu.
2. Niatkanlah belajar untuk menuntut ilmu karena Allah SWT.
3. Bacalah bahan bacaan atau materi yang terdapat dalam Bahan Ajar dengan seksama.
4. Berdiskusilah dalam mempelajari Bahan Ajar Bersama seluruh anggota kelompokmu.
5. Lakukanlah setiap kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar dengan bersungguh-sungguh.
6. Utamakan sikap jujur, disiplin, bertanggung jawab, bekerja sama dan saling tolong menolong.
7. Bacalah hamdalah setelah selesai mempelajari Bahan Ajar, agar ilmu yang telah dipelajari diberkati oleh Allah SWT.
8. Melakukan evaluasi dan refleksi

**PANDUAN PENGGUNAAN BAHAN AJAR  
BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED  
LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS**

**A. Bagi Guru**

Panduan bagi guru agar berhasil dalam membimbing dan menuntun peserta didik untuk memahami materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang terdapat dalam bahan ajar ini, maka ikutilah petunjuk berikut:

1. Bacalah doa terlebih dahulu, agar diberikan kemudahan dan kelancaran oleh Allah.
2. Berikan apersepsi atau pemahaman awal kepada peserta didik saat awal pembelajaran.
3. Berikan bimbingan kepada peserta didik dalam proses belajar.
4. Jadilah fasilitator bagi peserta didik.
5. Bantulah peserta didik dalam memecahkan masalah.
6. Lakukan evaluasi dan refleksi

**B. Bagi Siswa**

Panduan bagi peserta didik agar berhasil dalam menguasai materi, melaksanakan kegiatan-kegiatan yang ada dalam bahan ajar, dan mampu menerapkan ilmu yang diperolehnya dalam kehidupan sehari-hari, maka ikutilah petunjuk berikut dengan benar, yaitu:

1. Sebelum memulai kegiatan maka awali belajar dengan membaca basmalah dan doa terlebih dahulu.
2. Niatkanlah belajar untuk menuntun ilmu karena Allah SWT.
3. Bacalah bahan bacaan atau materi yang terdapat dalam Bahan Ajar dengan seksama.
4. Berdiskusilah dalam mempelajari Bahan Ajar Bersama seluruh anggota kelompokmu.
5. Lakukanlah setiap kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar dengan bersungguh-sungguh.
6. Utamakan sikap jujur, disiplin, bertanggung jawab, bekerja sama dan saling tolong menolong.
7. Bacalah hamdalah setelah selesai mempelajari Bahan Ajar, agar ilmu yang telah dipelajari diberkati oleh Allah SWT.
8. Lakukan evaluasi dan refleksi secara mandiri

### 3. Ultrasonik (>20000Hz)

Bunyi ultrasonik memiliki rentang suara di atas 20 ribu hertz dan tidak dapat didengar oleh manusia. berikut adalah contoh bunyi ultrasonik dalam kehidupan sehari-hari:



Gambar 3. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara ultrasonik

- Gelombang yang dihasilkan elektrokardiogram.
- Gelombang yang dihasilkan alat ultrasonografi (USG).
- Alat navigasi lumba-lumba, paus orca, paus sperma, dan berbagai jenis kelelawar.
- Alat komunikasi tarsius, tikus, dan berbagai jenis serangga.
- Bunyi yang dikeluarkan kukang dan sloth sebagai peringatan bahaya.
- Bunyi yang dikeluarkan sonar kapal laut.
- Gelombang yang dihasilkan alat pembersihan ultrasonik.
- Alat terapi untuk penyembuhan tumor dan kanker.
- Alat operasi atau pembedahan tanpa sayatan.

Cepat rambat bunyi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Keterangan :

$V$ : cepat rambat bunyi

$\lambda$ : panjang gelombang bunyi

$f$ : frekuensi bunyi

Cepat rambat bunyi tergantung pada mediumnya, dibagi menjadi 3 antara lain:

- Cepat rambat bunyi di dalam medium gas

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}} \quad (2)$$

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$\gamma$  = tetapan Laplace

$R$  = tetapan gas umum (J/mol K)

$T$  = suhu mutlak (K)

$Mr$  = massa molekul relatif (kg/mol)

### 3. Ultrasonik (>20000Hz)

Bunyi ultrasonik memiliki rentang suara di atas 20 ribu hertz dan tidak dapat didengar oleh manusia. berikut adalah contoh bunyi ultrasonik dalam kehidupan sehari-hari:



Gambar 3. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara ultrasonik

- Gelombang yang dihasilkan elektrokaradiogram.
- Gelombang yang dihasilkan alat ultrasonografi (USG).
- Alat navigasi lumba-lumba, paus orca, paus sperma, dan berbagai jenis kelelawar.
- Alat komunikasi tarsius, tikus, dan berbagai jenis serangga.
- Bunyi yang dikeluarkan kukang dan sloth sebagai peringatan bahaya.
- Bunyi yang dikeluarkan sonar kapal laut.
- Gelombang yang dihasilkan alat pembersihan ultrasonik.
- Alat terapi untuk penyembuhan tumor dan kanker.
- Alat operasi atau pembedahan tanpa sayatan.

Cepat rambat bunyi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Keterangan :

$v$ : cepat rambat bunyi ( $m/s$ )

$\lambda$ : panjang gelombang bunyi ( $m$ )

$f$ : frekuensi bunyi( $Hz$ )

Cepat rambat bunyi tergantung pada mediumnya, dibagi menjadi 3 antara lain:

- Cepat rambat bunyi di dalam medium gas

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}} \quad (2)$$

$v$  = cepat rambat bunyi ( $m/s$ )

$\gamma$  = tetapan Laplace

$R$  = tetapan gas umum ( $J/mol K$ )

$T$  = suhu mutlak ( $K$ )

$Mr$  = massa molekul relatif ( $kg/mol$ )



Sekarang, bagaimana jika berjalan ke arah datangnya kereta? Kalau ini dilakukan maka Anda akan melihat datangnya gerbong lebih cepat. Gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih cepat daripada kalau kita berdiri. Ini berarti periode tibanya gerbong yang kita ukur lebih kecil atau frekuensi yang kita ukur lebih besar.

Sebaliknya, pada saat bersamaan kita bergerak searah gerak kereta, maka gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih lambat. Periode tibanya gerbong yang kita deteksi menjadi lebih panjang, atau frekuensi yang kita ukur menjadi lebih kecil. Jadi frekuensi tibanya gerbong yang kita ukur sangat bergantung pada keadaan kita. Diam, bergerak ke arah datangnya kereta, atau bergerak searah gerak kereta akan menghasilkan catatan frekuensi yang berbeda. Hal serupa bergantung pada gelombang. Dan fenomena ini dinamakan efek doppler.

Efek doppler adalah peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar penerima bunyi ketika sumber bunyi bergerak mendekat atau menjauh. Pada saat sumber suara diam, kedua penerima mendengar besar frekuensi yang sama. Saat sumber suara bergerak, salah satu penerima mendengar frekuensi yang lebih besar dari sebelumnya dan penerima lain mendengar frekuensi yang lebih kecil dari sebelumnya. Persamaan Efek Doppler adalah :

$$f_p = \frac{V \pm V_p}{V \pm V_s} f_s \quad (21)$$

Keterangan:

$f_p$  = frekuensi pendengar (Hz)

$f_s$  = frekuensi sumber bunyi (Hz)

$V_p$  = kecepatan pendengar (m/s)

$V_s$  = kecepatan sumber bunyi (m/s)

$V$  = cepat rambat udara (340 m/s)

Dalam rumus efek doppler ada beberapa perjanjian tanda

$V_s$  bernilai positif (+) jika sumber bunyi menjauhi pendengar .

$V_s$  bernilai negatif (-) jika sumber bunyi mendekati pendengar.

$V_p$  bernilai positif (+) jika pendengar mendekati sumber bunyi.

$V_p$  bernilai negatif (-) jika pendengar menjauhi sumber bunyi



Sekarang, bagaimana jika berjalan ke arah datangnya kereta? Kalau ini dilakukan maka Anda akan melihat datangnya gerbong lebih cepat. Gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih cepat daripada kalau kita berdiri. Ini berarti periode tibanya gerbong yang kita ukur lebih kecil atau frekuensi yang kita ukur lebih besar.

Sebaliknya, pada saat bersamaan kita bergerak searah gerak kereta, maka gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih lambat. Periode tibanya gerbong yang kita deteksi menjadi lebih panjang, atau frekuensi yang kita ukur menjadi lebih kecil. Jadi frekuensi tibanya gerbong yang kita ukur sangat bergantung pada keadaan kita. Diam, bergerak ke arah datangnya kereta, atau bergerak searah gerak kereta akan menghasilkan catatan frekuensi yang berbeda. Hal serupa bergantung pada gelombang. Dan fenomena ini dinamakah efek doppler.

Efek doppler adalah peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar penerima bunyi ketika sumber bunyi bergerak mendekat atau menjauh. Pada saat sumber suara diam, kedua penerima mendengar besar frekuensi yang sama. Saat sumber suara bergerak, salah satu penerima mendengar frekuensi yang lebih besar dari sebelumnya dan penerima lain mendengar frekuensi yang lebih kecil dari sebelumnya. Persamaan Efek Doppler adalah :

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s \quad (21)$$

Keterangan:

$f_p$  = frekuensi pendengar (Hz)

$f_s$  = frekuensi sumber bunyi (Hz)

$v_p$  = kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  = kecepatan sumber bunyi (m/s)

$v$  = cepat rambat udara (340 m/s)

Dalam rumus efek doppler ada beberapa perjanjian tanda

$V_s$  bernilai positif (+) jika sumber bunyi menjauhi pendengar .

$V_s$  bernilai negatif (-) jika sumber bunyi mendekati pendengar.

$V_p$  bernilai positif (+) jika pendengar mendekati sumber bunyi.

$V_p$  bernilai negatif (-) jika pendengar menjauhi sumber bunyi



b) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat cair

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (3)$$

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$B$  = Modulus Bulk ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

c) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat padat

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4)$$

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$E$  = Modulus Young ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

#### Contoh Soal

Tentukan kecepatan perambatan gelombang bunyi di dalam air, jika diketahui modulus Bulk air  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$  dan massa jenis air  $10^3 kgm^{-3}$ . Tentukan pula panjang gelombang, jika frekuensinya 1 kHz!

**Penyelesaian:**

Diketahui :

Modulus Bulk =  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$

$\rho = 10^3 kgm^{-3}$

$f = 10^3 Hz$

Kecepatan perambatan bunyi

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2,25 \times 10^9}{10^3}} = 1500$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{1000} = 1,5 m$$

b) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat cair

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (3)$$

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$B$  = Modulus Bulk ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

c) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat padat

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4)$$

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$E$  = Modulus Young ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

#### Contoh Soal

Berapa kecepatan perambatan gelombang bunyi di dalam air, jika diketahui modulus Bulk air  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$  dan massa jenis air  $10^3 kgm^{-3}$ . Berapa pula panjang gelombang, jika frekuensinya 1 kHz?

#### Penyelesaian:

Diketahui :

Modulus Bulk =  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$

$\rho = 10^3 kgm^{-3}$

$f = 10^3 Hz$

Kecepatan perambatan bunyi

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2,25 \times 10^9}{10^3}} = 1500$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{1000} = 1,5 \text{ m}$$

#### **D. Kajian Produk Akhir**

Penelitian ini telah menghasilkan bahan ajar dalam bentuk bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* pada materi gelombang bunyi. Produk ini dikembangkan dalam bentuk buku cetak dengan bantuan beberapa *software* seperti *Assemblr Edu*, *Canva*, dan *Microsoft Word*. Bahan ajar yang dikembangkan memiliki beberapa item seperti petunjuk penggunaan bahan ajar, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, profil pelajar pancasila, penerapan sub materi dalam kehidupan sehari-hari, mari menalar, mari berdiskusi, aktivitas, mari bereksperimen, ayo mengamati, dan latihan soal.

Bahan ajar divalidasi oleh ahli media dan ahli materi. Berdasarkan penilaian yang diberikan oleh ahli media mendapatkan persentase 87,5% dengan kategori sangat layak. Butir penilaian yang mendapatkan persentase terendah yaitu kualitas cetak pada bahan ajar (75%). Hal tersebut dikarenakan keterbatasan tempat cetak. Butir penilaian yang mendapatkan persentase tertinggi yaitu kejelasan dan keterbacaan halaman depan (100%). Meskipun demikian, ketiga validator memberikan beberapa catatan sebagai bahan ajar yang sudah direvisi sehingga bahan ajar yang dikembangkan dapat lebih baik. Catatan terlampir pada Lampiran 10.

Berdasarkan penilaian dari ketiga ahli materi, materi yang dikembangkan mendapatkan persentase 90% dengan kategori sangat layak. Butir penilaian yang mendapatkan nilai terendah yaitu ketaatasaan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku (75%) dan materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011) (75%). Ketaat-asaan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku mendapatkan persentase 75% karena pada materi terdapat kata yang kurang tepat. materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis mendapatkan persentase 75% karena pada setiap bagian sub bab terdapat tugas yang meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik masih sedikit. Sehingga bagian tersebut dikatakan belum terlalu meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Meskipun demikian, ketiga validator memberikan beberapa catatan, supaya bahan ajar yang dikembangkan dapat lebih baik.

Produk bahan ajar diimplementasikan peserta didik. Implementasi dilakukan pada kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang dengan jumlah responden 29 peserta didik. Secara umum, implementasi bahan ajar fisika berbantuan *Augmented*

*Reality* dengan model *Problem Based Learning* bertujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

Implementasi tahap awal dilakukan dengan memberikan soal *pre-test* kepada peserta didik. Memberikan *pre-test* kepada peserta didik bertujuan untuk mengukur keterampilan peserta didik terhadap materi gelombang bunyi sebelum diimplementasikannya produk bahan ajar. Nilai rata-rata *pre-test* yang didapatkan sebesar 14 poin atau setara dengan 20 poin skala maksimal poin 100, Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu adanya solusi baru untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan meningkatkan nilai yang didapat peserta didik.

Penggunaan bahan ajar dimulai dengan memasang aplikasi Assemblr Edu di *smartphone* dan pembagian bahan ajar kepada peserta didik. Peserta didik diberi arahan serta petunjuk penggunaan bahan ajar, tujuan pembelajaran, serta berkesinambungan dengan Profil Pelajar Pancasila.

Bahan ajar terdiri dari 6 sub materi antara lain, pengertian gelombang bunyi, klasifikasi gelombang bunyi, dawai, pipa organa, intensitas dan taraf intensitas, serta efek doppler. Setiap sub materi terdapat aktivitas. Aktivitas tersebut antara lain Apersepsi untuk memantik peserta didik terkait dengan materi yang akan dipelajari serta untuk mengetahui terkait kesiapan peserta didik sebelum memulai pembelajaran, Mari menalar bertujuan untuk memberikan penalaran tentang materi yang

dipelajari, Ayo mengamati bertujuan untuk mengidentifikasi masalah nyata dan mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, Mari bereksperimen untuk menggabungkan keaktifan peserta didik dalam bereksperimen dengan pendekatan berbasis masalah, sehingga memberikan pengalaman belajar yang mendalam dan kontekstual, dan untuk memfasilitasi peserta didik untuk belajar bekerja sama, berpikir kritis, mencari alternatif, dan menemukan solusi bersama.

Penelitian dilakukan selama dua kali pertemuan, yaitu pada 13 dan 20 November 2024. Pertemuan pertama diisi dengan pemberian *pre-test*, pengenalan bahan ajar, dan penyampaian materi. Sedangkan pertemuan kedua diisi dengan melanjutkan penyampaian materi dan pemberian *post-test*.

Indikator keterampilan berpikir kritis menurut Ennis (2011) meliputi mampu untuk mengidentifikasi dan merumuskan masalah dengan jelas, mampu untuk mengumpulkan dan menilai informasi secara objektif, kemampuan untuk menginterpretasikan dan mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber, mampu untuk membuat inferensi yang tepat dan logis, mampu untuk mengevaluasi argumen dan bukti, mampu untuk merumuskan dan mempertahankan argumen secara kritis, mampu untuk mengambil keputusan yang rasional dan mendukungnya dengan alasan yang kuat, mampu untuk

mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah dengan cara yang sistematis dan kritis.

Berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test*, terdapat indikator yang mengalami kenaikan yang signifikan yaitu pada indikator menginvestigasi dan membuat kesimpulan yang terdapat pada soal 9 dan 10. Indikator tersebut mengalami kenaikan sebesar 60,86%. Indikator tersebut dapat dibangun melalui kegiatan aktivitas dan ayo mengamati. Melalui aktivitas, peserta didik melakukan eksperimen secara langsung untuk membangun keterampilan berpikir kritis peserta didik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zia Fadilla Rahma, yang menyatakan bahwa metode eksperimen dapat mempengaruhi keterampilan berpikir kritis peserta didik. Selain itu, materi pembelajaran akan lebih mudah diterima oleh peserta didik jika mereka juga memiliki minat, motivasi, dan kreativitas yang tinggi untuk berpartisipasi aktif dalam pembelajaran (Rahma, 2024).

Indikator yang mengalami kenaikan yang signifikan juga adalah pada indikator mempertimbangkan kredibilitas sumber yang termuat pada soal 4 dan 11. Indikator tersebut mengalami kenaikan dengan persentase sebesar 49,66%. Indikator mempertimbangkan kredibilitas sumber dapat diterapkan dalam bahan ajar dalam bentuk fitur “mari berdiskusi dan mari bereksperimen”. Melalui kegiatan mari berdiskusi dan

bereksperimen, peserta didik dapat berkolaborasi dan memecahkan suatu permasalahan yang konkret sehingga dapat membangun keterampilan berpikir kritis peserta didik. Kegiatan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Suparmi, yang menyatakan bahwa bekerja secara kelompok dapat meningkatkan rasa percaya diri. Dengan keanekaragaman masing-masing individu dalam kelompok, dapat memperkaya dinamika kelompok, Sehingga mereka dapat saling melengkapi satu sama lain. Hal ini dapat memicu keterampilan berpikir kritis peserta didik (Suparmi, 2015).

Indikator selanjutnya yang mengalami kenaikan adalah pada indikator fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen yang terdapat pada soal 7 dengan persentase 39,66%. Indikator tersebut dapat meningkat dengan bantuan fitur “ayo mengamati”. Hal tersebut karena pada bagian ayo mengamati terdapat ilustrasi menggunakan bantuan *Augmented Reality* yang mampu memvisualisasikan keadaan yang terjadi, sehingga peserta didik memiliki rasa penasaran yang telah diajarkan. Rasa penasaran terhadap sesuatu akan mendorong peserta didik sehingga dapat fokus dan mampu menganalisis setelah mengamati. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Noorhapizah (2020) yang menyatakan dengan fitur mari mengamati, peserta didik dapat membuat peta pemikiran (*mind-map*) dari permasalahan dengan benar (Noorhapizah et al., 2020).

Indikator yang mengalami kenaikan yang paling rendah adalah indikator mengidentifikasi dan menalar dari asumsi maupun sumber. Indikator tersebut hanya mengalami kenaikan dengan persentase sebesar 32,76%. Indikator yang mengalami kenaikan yang paling rendah ini, termuat dalam soal 1 dan 3 dibantu dengan fitur bahan ajar yaitu “mari menalar/ayu menalar”. Fitur bahan ajar mari menalar terdapat pertanyaan untuk mendorong peserta didik untuk menalar secara kritis permasalahan yang tersedia, sehingga mampu membangun keterampilan berpikir kritis peserta didik. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Siti Tasriah & Susanti (2024) bahwa fitur ruang menalar bertujuan untuk meningkatkan literasi serta mengasah kemampuan berpikir kritis peserta didik (Tasriah & Susanti, 2024).

Pembelajaran dengan menggunakan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui analisis uji *N-Gain* memperoleh skor 0,67 dalam kategori sedang. Hal tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rizka Oktaviyanti (2023) yang mengatakan bahwa bahan ajar berbantuan dengan *Augmented Reality* dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik (Oktaviyanti et al., 2023). Hanya saja penelitian yang dilakukan oleh Rizka Oktaviyanti, menggunakan

dua kelas yaitu kelas kontrol dan kelas eksperimen. Sedangkan penelitian ini menggunakan satu kelas. Oleh karena itu, bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dengan skor kenaikan yang sedang.

Setelah peserta didik melaksanakan *pre-test* dan *post-test*, dilanjutkan untuk mengisi angket respons terkait dengan bahan ajar yang telah digunakan selama pembelajaran. Berdasarkan hasil respons peserta didik terhadap bahan ajar secara keseluruhan mendapatkan persentase rata-rata sebesar 90,42% yang tergolong kategori sangat baik. Aspek penyajian bahan ajar mendapatkan persentase 93,1% dengan kategori sangat baik, aspek materi pada bahan ajar mendapatkan persentase 86,21% dengan kategori sangat baik, aspek tampilan pada bahan ajar dan kemanfaatan bahan ajar memiliki persentase sebesar 94,91% dengan kategori sangat baik, dan aspek yang terakhir yaitu kemudahan penggunaan bahan ajar mendapatkan persentase sebesar 81,35%.

Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* pada saat implementasi kurang sesuai dengan yang telah dikonsepkan. Hal tersebut terjadi dikarenakan waktu yang diberikan sekolah sangat terbatas, sedangkan materi yang terdapat pada gelombang bunyi harus disampaikan secara keseluruhan. Selain itu, guru juga berperan penuh dalam proses pembelajaran. Hal tersebut karena

kelas yang dijadikan penelitian membutuhkan rangsangan untuk membangkitkan keterampilan berpikir kritis peserta didik.

#### **E. Keterbatasan Penelitian**

Berdasarkan hasil yang dilakukan oleh peneliti dalam penelitian, penelitian ini masih jauh dari kata sempurna dan tentu memiliki kekurangan serta keterbatasan. Keterbatasan penelitian tersebut sebagai berikut:

1. Keterbatasan *platform* bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* berbentuk cetak dan didukung dengan aplikasi *Assemblr Edu* yang masih sederhana, karena keterbatasan bahan-bahan pada aplikasi dan peneliti dalam penggunaan teknologi.
2. Akses untuk memuat *Augmented Reality* memerlukan kuota dan jaringan yang stabil, sehingga akan ada kesulitan dalam mengakses.
3. Bahan ajar yang dikembangkan hanya diimplementasikan pada kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang.
4. Bahan ajar yang dikembangkan hanya memuat materi gelombang bunyi saja, tidak memuat materi dalam mata pelajaran fisika secara keseluruhan.
5. Keterbatasan waktu implementasi yang singkat, sehingga materi tidak dapat disampaikan secara optimal.

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan di MA NU Al Hikmah Semarang dengan judul penelitian adalah “Pengembangan Bahan Ajar fisika Berbantuan *Augmented Reality* dengan Model *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik” dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* sangat layak digunakan dengan persentase kelayakan media sebesar 87,5% dan persentase kelayakan materi sebesar 90%.
2. Respons peserta didik terhadap aspek penyajian bahan ajar mendapatkan persentase 93,1% dengan kategori sangat baik, aspek materi pada bahan ajar mendapatkan persentase 86,21% dengan kategori sangat baik, aspek tampilan pada bahan ajar dan kemanfaatan bahan ajar memiliki persentase sebesar 94,91% dengan kategori sangat baik, dan aspek yang terakhir yaitu kemudahan penggunaan bahan ajar mendapatkan persentase sebesar 81,35%. Secara keseluruhan, respons peserta didik terhadap bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model

*Problem Based Learning* mendapatkan respon yang sangat baik dengan rata-rata persentase sebesar 90,42%

3. Bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis pada peserta didik. Hal ini dibuktikan dengan hasil dari analisis *N-Gain* pada *pre-test* dan *post-test* dengan skor 0,67 yang termasuk kategori “sedang”.

## **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan bahan ajar fisika berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* pada materi gelombang bunyi, terdapat beberapa saran sebagai refleksi agar menjadi lebih baik. Berikut saran-saran tersebut antara lain:

1. Bahan ajar perlu adanya pengembangan dengan integrasi yang lebih mudah dan menarik, sehingga pembelajaran dapat diakses dengan mudah dan lebih menyenangkan.
2. Bagi peneliti selanjutnya, perlu adanya pengembangan bahan ajar fisika yang terintegrasi *Augmented Reality* yang mengangkat materi fisika lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir, M. T. (2016, January). *Inovasi Pendidikan Melalui Problem Based Learning*.
- Arikunto, S. (2009). *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan ((Revisi))*. PT Bumi Aksara.
- Arikunto, S. (2015). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Bumi Aksara.
- Arini, W., & Juliadi. (2018). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis pada Mata Pelajaran Fisika untuk Pokok Bahasan Vektor Siswa Kelas X SMA NEGERI 4 Lubuklinggau, Sumatera Selatan. *Berkala Fisika Indonesia*, 10.
- Assemblr Edu. (2021). *Bagaimana Cara Kerjanya | Assemblr EDU*. <https://id.edu.assemblrworld.com/how-it-works>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6, 355–385. <http://www.cs.unc.edu/~azumaW>:
- Belawati, T. (2003). *Pengembangan Bahan Ajar (Kesatu)*. Universitas Terbuka.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- Cahyani, A., & Putri, S. O. (2019). Inovasi Pendidikan Melalui Kemampuan Berpikir Kritis. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, 286–297.
- Depdiknas. (2003). *Standar Kompetensi Mata Pelajaran Fisika*. Balitbang Depdiknas.

- Ennis, R. (2011). Critical Thinking: Reflection and Perspective Part II. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(2), 5–19. <https://doi.org/10.5840/INQUIRYCTNEWS201126215>
- Ennis, R. H. (1993). Critical thinking assessment. *Theory Into Practice*, 32(3), 179–186. <https://doi.org/10.1080/00405849309543594>
- Enzai, N. I. M., Ahmad, N., Ghani, M. A. H. A., Rais, S. S., & Mohamed, S. (2021). Development of Augmented Reality (AR) for Innovative Teaching and Learning in Engineering Education. *Asian Journal of University Education*, 16(4), 99–108. <https://doi.org/10.24191/AJUE.V16I4.11954>
- Farisi, A., Hamid, A., & Melvina, M. (2017). Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dalam Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Konsep Suhu dan Kalor. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 2(3), 283–287. <https://jim.usk.ac.id/pendidikan-fisika/article/view/4979>
- Giancoli, D. C. (2014). *Fisika : Prinsip dan Aplikasi (Terjemahan)* (A. M. Drajat & A. Safitri, Eds.; 7th ed.). Erlangga.
- Hake, R. R. (1999). Analyzing Change / Gain Score. *Indiana University*.
- Harjanto. (2008). *Perencanaan Pengajaran*. Rineka Cipta.
- Herry Hernawan, A., Dra Hj Permasih, Mp., & Laksmi Dewi, Mp. (2012). *Pengembangan Bahan Ajar*. [https://lmsspada.kemdikbud.go.id/pluginfile.php/685137/mod\\_resource/content/1/PERTEMUAN%209.%20PENGEMBANGAN\\_BAHAN\\_AJAR.pdf](https://lmsspada.kemdikbud.go.id/pluginfile.php/685137/mod_resource/content/1/PERTEMUAN%209.%20PENGEMBANGAN_BAHAN_AJAR.pdf)

- Hirose, A., & Lonngren, K. E. (2010). Fundamentals of wave phenomena. *Fundamentals of Wave Phenomena*, 1–384. <https://doi.org/10.1049/SBEW044E>
- Huang, H.-M., Liaw, S.-S., & Lai, C.-M. (2013). Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of desktop and projection-based display systems. *Interactive Learning Environments*, 24, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.817436>
- Huda, C., Damayanti, F. F., & Nuvitalia, D. (2019). Analisis Validitas dan Reliabilitas Alat Peraga Tabung Resonansi Horizontal beserta Instrumennya untuk Menunjang Keterampilan Generik Sains Siswa. *Physics Education Research Journal*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.21580/PERJ.2019.1.1.3978>
- Ilafi, M. M. (2022). *Pengembangan Modul Interaktif Berbasis Augmented Reality Berbantuan Assemblr Edu Pada Materi Tata Surya Kelas VII SMP/MTs*. UIN Kiai Haji Achmad Siddiq.
- Kemendikbudristek. (2022). *Capaian Pembelajaran Mata Pelajaran Fisika Fase E-Fase F Untuk SMA/MA/Program Paket C*.
- Khotimah, K., Siwi Satiti, W., Matematika, P., A Wahab Hasbullah Jl Garuda No, U. K., & Jombang, T. (2019). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Pada Materi Bangun Ruang Sisi Datar Kelas VIII. *Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin*, 2(1), 99–105. <https://ejournal.unwaha.ac.id/index.php/snami/article/view/675>
- Magdalena, I. (2020). *Evaluasi Pembelajaran SD (Teori dan Praktik)*. CV Jejak.

- Mustaqim, I. (2017). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(1). <https://doi.org/10.21831/jee.v1i1.13267>
- Nafiah, Y. N., & Suyanto, W. (2014). Penerapan model problem-based learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 4(1). <https://doi.org/10.21831/JPV.V4I1.2540>
- Noorhapizah, Agusta, A. R., & Pratiwi, D. A. (2020). *Pengembangan Bahan Ajar Bermuatan Keterampilan Berpikir Kritis, Berpikir Kreatif dan Berpikir Logis Berbasis Kearifan Lokal*.
- Nurhikmayati, I., & Jatisunda, M. G. (2019). Pengembangan Bahan Ajar Matematika Berbasis Scientific yang Berorientasi pada Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa. *Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika*, 8.
- Oktaviyanti, R., Fatmahanik, U., Fadly, W., & Artikel, R. (2023). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis STEM dengan Memanfaatkan Augmented Reality dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 3(3), 303–314. <https://doi.org/10.21154/JTII.V3I3.1592>
- Pannen, P., & Purwanto. (2001). *Penulisan Bahan Ajar (Revisi Cetakan ke-1)*. PAU-PPAI Universitas Terbuka.
- Permendikbudristek. (2022). *Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2022*.
- Priyadi, R., Mustajab, A., Tatsar, M. Z., & Kusairi, S. (2018). Analisis Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMA Kelas X MIPA dalam Pembelajaran Fisika. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 6(1), 53. <https://doi.org/10.22487/j25805924.2018.v6.i1.10020>

- Rahma, Z. F. (2024). *Pengaruh Metode Eksperimen Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis pada Materi Wujud Zat dan Perubahannya Kelas IV SDN Suradita*. UIN Syarif Hidayatullah.
- Ramadhani, R., & Bina, N. S. (2021). *Statistika Penelitian Pendidikan: Analisis Perhitungan Matematis dan Aplikasi SPSS*. Prenada Media.
- Ridha, H. (2023). *Pengembangan Bahan Ajar Digital Kalor Berbantuan Augmented Reality Terintegrasi Model CTL Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif Siswa* [Universitas Negeri Padang]. <http://repository.unp.ac.id/49055/>
- Riduwan. (2012). *Skala pengukuran variabel-variabel penelitian*. ALFABETA.  
<https://elibrary.bsi.ac.id/readbook/203109/skala-pengukuran-variabel-variabel-penelitian>
- Riduwan, S., & Akdon. (2014). *Pengantar statistika untuk penelitian: pendidikan, sosial, komunikasi, ekonomi, dan bisnis*. Alfabeta.
- Salahudin, A. (2017). *Metode Riset Kebijakan Pendidikan* (Cetakan 1). Pustaka Setia.
- Samudra, G. B., Suastra, I. W., & Suma, K. (2014). Permasalahan-Permasalahan Yang Dihadapi Siswa SMA Di Kota Singaraja Dalam Mempelajari Fisika. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran IPA Indonesia*, 4(1). [https://ejournal-pasca.undiksha.ac.id/index.php/jurnal\\_ipa/article/view/1093](https://ejournal-pasca.undiksha.ac.id/index.php/jurnal_ipa/article/view/1093)
- Sanders, M., & Moulenbelt, J. (2011). Defining Critical Thinking. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(1), 38–46. <https://doi.org/10.5840/inquiryctnews20112616>

- Sanjaya, W. (2011). *Strategi pembelajaran berorientasi standar proses pendidikan*.
- Suarti, & Ramadhani, A. (2022). Analisis Keterampilan Berpikir Kritis dalam Menyelesaikan Soal Termodinamika Melalui Model SQ3R (Survey, Question, Read, Recite, Review). *Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(1), 31–37. <https://doi.org/10.24252/al-khazini.v2i1.31545>
- Sudjana, N. (2010). *Dasar-dasar Proses Belajar Mengajar*. Sinar Baru Algesindo.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian dan Pengembangan*. CV, Alfabeta.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*.
- Sujana, A., & Sopandi, W. (2020). *Model-Model Pembelajaran Inovatif*. Depok: Rajawali Garafindo Persada.
- Suparmi. (2015). *Bahan Ajar Berbasis Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa*. Universitas Negeri Semarang.
- Sutanto, S., Irwan Koto, & Endang Widi Winarni. (2022). Pengembangan Bahan Ajar Digital Berbasis Discovery Learning dengan Augmented Reality Untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa Pada Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Jurnal Kajian Pendidikan Dasar (Kapedas)*, 1(2), 175–187. <https://doi.org/10.33369/kapedas.v1i2.23196>
- Tasriah, S., & Susanti. (2024). Pengembangan Bahan Ajar E-LKDP Berbasis Hots (Higher Order Thinking Skills) pada Mata Pelajaran Akuntansi Keuangan Kelas XI Akuntansi untuk SMK Negeri di Surabaya. *Reslaj: Religion Education Social*

- Tipler, P. A. (1998). *Fisika : untuk sains dan teknik* (3rd ed.). Erlangga.
- Umar, H. (2011). *Metode Penelitian untuk Skripsi dan Tesis Bisnis* (Kedua). PT. Rajagrafindo Persada.
- Utiah, H., & Paramata, Y. (2018). Penerapan Perangkat Pembelajaran Fisika Berbasis Kearifan Lokal untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis pada Konsep Besaran dan Satuan. *Prosiding Quantum*.
- Warsono, Haryanto, & Muliawati, N. N. (2013). *Pembelajaran aktif: teori dan asesmen* (Cetakan ke 2). Remaja Rosdakarya.
- Widyoko, E. P. (2012). *Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian*. Pustaka Pelajar.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Lembar Pengesahan Proposal



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Prof. Dr. Hamka Km 1, Semarang Telp. 02476433377 Semarang 50185  
Email: [fst@walisongo.ac.id](mailto:fst@walisongo.ac.id). Web: <http://fst.walisongo.ac.id>

#### PENGESAHAN

Naskah proposal skripsi berikut ini:

Judul : **PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN  
MEDIA AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL  
PROBLEM BASED LEARNING UNTUK  
MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR  
KRITIS PESERTA DIDIK**

Penulis : Muhammad Arifin Ilham

NIM : 2008066044

Prodi : Pendidikan Fisika

Telah diujikan dalam seminar proposal oleh Dewan Penguji  
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat  
dilanjutkan ke tahap penelitian sebagai salah satu syarat  
memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Pendidikan Fisika.

Semarang, 3 April 2024

#### DEWAN PENGUJI

Penguji I

Affa Ardhi Saputri, M. Pd.  
NIP. 199004102019032018

Penguji II

Rina Susi Cahyawati, M. Pd.  
NIP. 198705072020122003

Penguji III

Qisthi Fariyani, M.Pd.  
NIP. 198912162019032017

Penguji IV

Irman Said Prastyo, M.Sc.  
NIP. 199112282019031009

Ketua Jurusan Pendidikan Fisika

Dr. Joko Budi Poernomo, M.Pd  
NIP. 197602142008011011

## Lampiran 2 Hasil Wawancara

### SURAT KETERANGAN PERNYATAAN WAWANCARA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfi Ristanti Oktafiani, S. Pd.

Profesi : Guru Fisika

Menyatakan bahwa

Nama : Muhammad Arifin Ilham

Profesi : Mahasiswa UIN Walisongo Semarang

Jurusan/Prodi : Pendidikan Fisika

NIM : 2008066044

Telah melakukan wawancara langsung kepada pihak MA NU Al Hikmah Semarang pada tanggal 12 November 2024 untuk kepentingan perolehan informasi terkait penyelesaian skripsi.

Demikian, surat pernyataan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pewawancara



Muhammad Arifin Ilham  
NIM. 2008066044

Pihak yang diwawancarai



Alfi Ristanti Oktafiani, S. Pd.  
NIP.-

#### INSTRUMEN WAWANCARA

Nama Narasumber : Alfi Ristianti Oktafiani, S. Pd.

Profesi : Guru Fisika

Waktu : 12 November 2024

Tempat : MA NU Al Hikmah Semarang

No	Daftar Pertanyaan Wawancara
1	Kurikulum apa yang digunakan pada kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang saat ini?
2	Bahan ajar apa yang biasa digunakan oleh guru fisika kelas XI MA NU Al Hikmah Semarang?
3	Apakah sudah ada bahan ajar berbantuan <i>Augmented Reality</i> ?
4	Apakah sudah ada bahan ajar yang mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik?
5	Bagaimana keinteraktifan dalam proses pembelajaran di kelas?
6	Bagaimana keterampilan berpikir kritis peserta didik selama pembelajaran dengan menggunakan bahan ajar yang digunakan?
7	Bagaimana nilai rata-rata pada gelombang bunyi?
8	Apakah dalam soal ulangan sudah menggunakan indikator berpikir kritis?
9	Apakah materi gelombang bunyi termasuk materi yang sulit untuk dipahami?
10	Apakah selama pembelajaran peserta didik diperkenankan untuk menggunakan <i>smartphone</i> ?
11	Apa harapan terkait dengan bahan ajar yang dikembangkan peneliti terhadap peserta didik

No	Jawaban Hasil Wawancara Bersama Guru Fisika
1	Kurikulum yang digunakan saat pembelajaran di MA NU Al Hikmah Semarang saat ini adalah kurikulum merdeka
2	Ceramah interaktif, diskusi, dan powerpoint
3	Belum ada
4	Belum ada
5	Keaktifan peserta didik dalam belajar fisika dapat dikatakan cukup baik, karena belum adanya bahan ajar yang mampu mendukung mereka untuk belajar aktif
6	Keterampilan berpikir kritis peserta didik masih kurang terasah
7	Cukup baik
8	Beberapa soal sudah
9	Ya, termasuk cukup sulit
10	Diperkenankan pada waktu tertentu saat dibutuhkan
11	Semoga bahan ajar yang dikembangkan dan diberikan kepada peserta didik mampu memberikan hasil positif bagi perkembangan peserta didik dalam mempelajari fisika

## Lampiran 3 Surat Permohonan Validator Instrumen Tes, Ahli Media, dan Ahli Materi



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
alamat: Jl.Prof. Dr. Hamka Km. 1 Semarang 50185  
E-mail: [fst@walisongo.ac.id](mailto:fst@walisongo.ac.id) Web : <http://fst.walisongo.ac.id>

Nomor : B.7143/Un.10.8/D/SP.01.06/10/2024 02 Oktober 2024  
Lamp : -  
Hal : Permohonan Validasi Instrumen

Kepada Yth.

1. Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd  
Validator Instrumen Produk Bahan ajar  
(Dosen Pendidikan Fisika FST UIN Walisongo)
2. Dr. Andi Fadlan, S. Si., M. Sc.  
Validator Instrumen Produk Bahan ajar  
(Dosen Fisika FST UIN Walisongo)
3. Agus Sudarmanto, M. Si  
Validator Instrumen Produk Bahan ajar  
(Dosen Fisika FST UIN Walisongo)
4. Dr. Susilawati, M. Pd  
Validator Instrumen Soal Pretest, Posttest, dan Respon  
(Dosen Pendidikan Fisika FST UIN Walisongo)  
di tempat.

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Bersama ini kami mohon dengan hormat, kiranya Bapak/Ibu/Saudara menjadi validator ahli instrumen untuk penelitian skripsi:

Nama : Muhammad Arifin Ilham  
NIM : 2008066044  
Program Studi : Pendidikan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo  
Judul : Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality  
Dengan Model Problem Based Learning untuk meningkatkan  
keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik.

Demikian atas perhatian dan berkenannya menjadi validator ahli instrument kami ucapkan terima kasih

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

A.n. Dekan  
Kabag. TU



Muh. Kharis, SH, M.H  
NIP. 19691017 199403 1 002

## Lampiran 4 Rubrik Penilaian Ahli Media

### Rubrik Penilaian Ahli Media

No	Aspek Penilaian	Skor	Deskripsi
<b>Aspek Desain Bahan Ajar</b>			
1	Penggunaan ilustrasi bahan ajar	4	(1) Objek ilustrasi yang disajikan tepat (2) Ilustrasi yang disajikan menarik (3) Ilustrasi yang disajikan terlihat jelas
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
2	Penggunaan halaman isi bahan ajar	4	(1) Halaman isi disajikan jelas (2) Halaman isi awal sampai akhir dapat terbaca (3) Halaman isi akurat
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
3	Desain kover/halaman depan bahan ajar	4	(1) Halaman depan disajikan jelas (2) Halaman depan disajikan menarik (3) Halaman depan menggambarkan isi bahan ajar
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
<b>Aspek Standar Grafika Bahan Ajar</b>			
4	Kualitas hasil cetak bahan ajar	4	(1) Bahan ajar disajikan dengan format yang sesuai standar bahan ajar (2) Bahan ajar disajikan secara rapi dan terjilid (3) Keterbacaan bahan ajar jelas
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
5	Kualitas <i>Augmented Reality</i> pada bahan ajar	4	(1) Keterbacaan pada perangkat dan platform (2) Ketersediaan dalam ukuran yang relatif ringan (3) Kemudahan didistribusikan kepada pengguna
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali

## Lampiran 5 Rubrik Penilaian Ahli Materi

**Rubrik Penilaian Ahli Materi**

No	Aspek Penilaian	Skor	Deskripsi
<b>Aspek Standar Kelayakan Isi</b>			
1	Keberanan bahan ajar dari segi keilmuan	4	(1) Materi yang disajikan tidak menimbulkan bias dan multitafsir serta sesuai dengan definisi yang berlaku (2) Fakta yang di disajikan sesuai kenyataan empiris serta efektif dan efisien (3) Materi yang disajikan secara runtut dan logis
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
2	Kesesuaian bahan ajar dengan kurikulum yang berlaku	4	(1) Berisikan Tujuan pembelajaran yang jelas berdasarkan capaian pembelajaran (CP). (2) Materi secara lengkap sesuai dengan CP. (3) Kesesuaian materi sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
3	Kesesuaian bahan ajar dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	4	(1) Materi yang disajikan terintegrasi dengan teknologi yang berkembang saat ini yaitu Augmented Reality (AR) (2) Materi yang disajikan berkaitan dengan penggunaan teknologi dan ilmu pengetahuan yang terbaru (3) Contoh yang disajikan bersifat aktual dan faktual
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
4	Kesesuaian bahan ajar dengan konteks dan lingkungan.	4	(1) Materi yang disajikan berkaitan dengan kehidupan sehari hari siswa. (2) Bahan ajar yang disajikan sesuai konteks yang akan dipelajari (3) Fakta dan konsep yang disajikan akurat sesuai dengan fakta dan konsep dalam ilmu fisika
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
5	Kesatupadukan antar bagian isi bahan ajar	4	(1) Materi yang disajikan saling mengait, saling melengkapi, dan

			berkesinambungan. (2) kegiatan yang disajikan sesuai dengan tujuan pembelajaran peserta didik. (3) Alur pembahasan materi dapat dipahami oleh peserta didik.
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
<b>Aspek Kelayakan Penyampaian Isi Bahan Ajar</b>			
6	Penyajian materi runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik	4	(1) Materi disajikan runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik (2) Sistematis penyajian sesuai dengan asas dan pembelajaran (pendahuluan, isi, penutup) (3) Penyajian materi bersifat aktif dan partisipatif
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
7	Penyajian materi sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik	4	(1) Bahasa yang digunakan jelas dan mudah dipahami peserta didik (2) Tulisan yang digunakan jelas dan mudah dibaca (3) Kalimat yang digunakan jelas dan tidak bertele-tele
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
<b>Aspek Kelayakan Penggunaan Bahasa Bahan Ajar</b>			
8	Tingkat kesederhanaan atau tingkat kerumitan sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik	4	(1) Menggunakan ejaan Bahasa Indonesia secara benar (2) Menggunakan istilah yang jelas (3) Kalimat yang digunakan tidak memiliki makna ganda
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali
<b>Komponen keterampilan berpikir kritis</b>			
9	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	4	(1) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan peserta didik untuk fokus pada pertanyaan dan menganalisis argumen. (2) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan untuk mengamati dan mempertimbangkan. (3) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan untuk membuat kesimpulan dan

			mendeskrripsikan istilah. (4) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan untuk memperkirakan dan menalar dari asumsi dan persoalan.
		3	Memuat dua poin di atas
		2	Memuat satu poin di atas
		1	Tidak memuat poin sama sekali

## Lampiran 6 Rubrik Penilaian Respons Peserta Didik



**MA NU Al Hikmah  
Semarang**

Bagian 1 dari 7

### Respons Peserta Didik MA NU Al Hikmah Semarang

**B I U ↻ ✕**

Respons peserta didik dan guru digunakan untuk mengetahui respons peserta didik dan guru terhadap penggunaan bahan ajar berbantuan Augmented Reality sebagai bahan ajar

Berikut petunjuk pengisian angket respons peserta didik dan guru:

**Petunjuk Pengisian Angket Respons Peserta Didik dan Guru**

1. Jawablah pertanyaan dalam angket dengan sejujur-jujurnya
2. Tulis nama dan nomor absen pada kolom yang telah disediakan
3. Setiap kolom pertanyaan dalam angket harus diisi sebagai bahan evaluasi dalam pengembangan bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* materi gelombang bunyi
4. Isi salah satu dari dua pilihan, yang terdiri dari **Setuju** dan **Tidak Setuju** sesuai dengan tanggapan Anda
5. Berikan kritik dan saran pada kolom yang telah disediakan
6. Periksa kembali tanggapan Anda
7. Klik kirim jika dianggap tanggapan telah sesuai

Setelah bagian 1 Lanjutkan ke bagian berikut

Bagian 3 dari 7

Penyajian Bahan Ajar



Deskripsi (opsional)

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* merupakan hal baru bagi saya

Tidak Setuju

Setuju

...

Kegiatan-kegiatan yang terdapat dalam bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis saya

Tidak Setuju

Setuju

Setelah bagian 3 Lanjutkan ke bagian berikut



Bagian 4 dari 7

Materi Bahan Ajar



Deskripsi (opsional)

Bahan ajar dengan *Augmented Reality* dapat membantu untuk berpikir kritis saya

Tidak Setuju

Setuju

Setelah bagian 4 Lanjutkan ke bagian berikut



**Tampilan pada Bahan Ajar**



Deskripsi (opsional)

Bahan ajar berbantuan Augmented Reality dengan model Problem Based Learning menyajikan tampilan yang menarik

- Tidak Setuju
- Setuju



Tampilan *Augmented Reality* dapat membantu saya dalam memahami soal yang ada

- Tidak Setuju
- Setuju



Bagian 6 dari 7

**Kemanfaatan Bahan Ajar**



Deskripsi (opsional)

Bahan ajar berbantuan Augmented Reality dengan model Problem Based Learning memberikan pengalaman belajar yang sesuai dengan kehidupan sehari-hari

- Tidak setuju
- Setuju

Bahan ajar berbantuan Augmented Reality dengan model Problem Based Learning dapat memahami materi bagi saya

- Tidak setuju
- Setuju

Setelah bagian 6 Lanjutkan ke bagian berikut



**Kemudahan Penggunaan Bahan Ajar**



Deskripsi (opsional)

Bahan ajar berbantuan Augmented Reality dengan model Problem Based Learning memberikan kemudahan bagi saya untuk belajar secara mandiri

- Tidak setuju
- Setuju



Bahan ajar berbantuan Augmented Reality dengan model Problem Based Learning memberikan kemudahan saat diakses

- Tidak setuju
- Setuju

## Lampiran 7 Hasil Ahli Instrumen

**Lembar Validasi Soal Pretest dan Postest Keterampilan berpikir Kritis Siswa  
Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality dengan Model  
Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis  
Peserta Didik**

Oleh : Muhammad Arifin Ilham

NIM : 2008066044

Hari/Tanggal : Rabu, 2 Oktober 2024  
Nama Validator : Dr. Susilawati, M. Pd  
Asal Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Dosen Pembimbing 1 : Affa Ardhi Saputri, M. Pd  
Dosen Pembimbing 2 : Fachrizal Rian Pratama, M. Sc

Dengan Hormat,

Berkenaan dengan adanya bahan ajar berbantuan Augmented Reality untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, maka melalui lembar validasi soal pretest dan postest berbentuk essay berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis ini mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap soal yang telah dibuat peneliti. Penilaian dari Bapak/Ibu akan sangat bermanfaat untuk meningkatkan kualitas soal ini. Sebelumnya saya mengucapkan terima kasih atas bantuan yang Bapak/Ibu berikan.

### **A. Petunjuk Pengisian**

1. Lembar validasi ini digunakan untuk mengetahui pertimbangan validator terhadap instrumen yang akan digunakan untuk mengumpulkan data penelitian, yaitu mengenai soal pretest dan postest berbentuk essay berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis dalam menganalisis masalah fisika khususnya pada materi gelombang bunyi.
2. Mohon memberikan nilai pada kolom skor yang Bapak/Ibu anggap sesuai dengan penilaian yang ada.
3. Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi soal pretest dan postest menggunakan skala likert:  
Skor 4 : Sangat Baik (SB)  
Skor 3 : Baik (B)  
Skor 2 : Cukup Baik (CB)  
Skor 1 : Kurang Baik (KB)
4. Mohon Bapak/Ibu untuk memberikan komentar dan saran perbaikan serta kesimpulan dari penilaian soal pada tempat yang telah disediakan.
5. Terima kasih banyak atas kesediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini.

B. Penilaian

No	Aspek yang Dinilai	Penilaian											Keterangan
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>A. ISI</b>													
1	Butir soal sesuai dengan indikator keterampilan berpikir kritis	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	Pada penyusunan
2	Batasan Pertanyaan dan jawaban yang diharapkan sesuai dan jelas	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	Masih banyak yg samar-samar. Gampang
3	Isi materi pada soal sesuai dengan tujuan penelitian	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	Aspek 4 Indikator Berpikir Kritis diturunkan
4	Isi materi yang ditanyakan pada soal sesuai dengan jenjang dan jenis sekolah serta tingkat kelas	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	kecakapan siswa namun belum valid
<b>B. KONSTRUKSI</b>													
5	Pokok soal yang dirumuskan dan kata tanya atau kata perintah menuntut jawaban terurai	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	Sesuai
6	Terdapat petunjuk yang jelas terkait cara mengerjakan atau menyelesaikan soal	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Belum dilengkapi petunjuk
7	Terdapat pedoman penskoran jawaban	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Penskoran dapat dibuat lebih spesifik
<b>C. BAHASA</b>													
8	Kalimat soal dirumuskan secara komunikatif	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Sesuai
9	Kalimat soal menggunakan bahasa Indonesia yang baik dan benar (baku)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Sesuai

10	Rumusan kalimat soal tidak menggunakan kata atau ungkapan yang menimbulkan penafsiran ganda	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Munculkan kecamaran pada
11	Rumusan kalimat soal tidak menggunakan bahasa lokal (berlaku setempat)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Sesuai
12	Rumusan kalimat soal tidak mengandung kata atau ungkapan yang dapat menyinggung perasaan peserta didik	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Sesuai

C. Komentor dan Saran

Soal letrampion berpikir kritis dapat ditrapkan dalam pembelajaran.

Beberapa Catatan Perbaikan :

Soal No 1. Perbaiki redaksi soal untuk mengidentifikasi sifat " galombang

Soal No 4. Tidak merupakan hasil pengukuran dan perhitungan, bukan hasil observasi,

Soal No 3. Tambahkan besaran fisika

Soal No 5. Pertanyaannya jumlah mesin, mohon di cek

Soal No 6. Dapat ditambah gambar yg menunjukkan perbedaan

Soal No 9. Uraih redaksi soal untuk menyederhanakan

Soal No 10, 11. Tambahkan gambar yang terdapat besaran fisiknya

$f$ ,  $v$  dan lainnya.

D. Kesimpulan

Mohon Bapak/Ibu lingkari pada nomor yang sesuai dengan kesimpulan:

1. Layak untuk digunakan tanpa revisi
2. Layak untuk digunakan dengan revisi sesuai saran yang diberikan
3. Tidak layak untuk digunakan

Semarang, 10 Oktober 2024  
Validator,



Dr. Susilawati, M. Pd.  
NIP. 198605122019032010

## Lampiran 8 Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 1)

**LEMBAR ANGKET AHLI MEDIA  
PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN  
MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN  
BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

**A. Identitas Validator**

Nama : Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd.  
Jabatan : Kepala Laboratorium  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 081225797666  
Alamat :

**B. Petunjuk Pengisian**

- Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan *Augmented Reality* dengan *Model Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan.
- Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
- Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
- Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 3 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 2 : Tidak Setuju (TS)
- Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
- Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini.

**C. Lembar Angket**

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1	2	3	4
				TS	KS	S	SS
1	Desain Bahan Ajar	Penggunaan ilustrasi	a) Ketepatan objek ilustrasi				✓
			b) Kemenarikan ilustrasi				✓
		Penggunaan halaman isi	c) Kejelasan dan keterbacaan isi			✓	
			d) Kemenarikan halaman depan				✓

		Desain kover/halaman depan	e) Kejelasan dan keterbacaan halaman depan				✓
2	Grafik Bahan Ajar	Kualitas hasil cetak	f) Kualitas format/ukuran buku				✓
		Kualitas <i>Augmented Reality</i>	g) Kualitas cetak				✓
			h) keterbacaan pada perangkat				✓
			i) kemudahan dalam penggunaan				✓

**D. Komentar dan Saran**

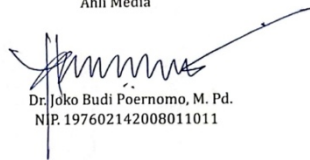
# Cemas Carian & Hasil Elan Melaku  
Buku B. Kampus

**E. Kesimpulan**

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
2. Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang.....  
Ahli Media



Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd.  
N.P. 197602142008011011

Catatan:

1). Cover. (jangan terlalu penuh).

8 tambahi tulisan "

kalau kalau agar ini digambarkan sebagai salah satu  
Instrument penelitian

8 sebutkan Nama peneliti & pembimbing

2). Cover Kurang Lugas

3). perbaiki kuesioner evaluasi hal 24 if

4). Tambah Daftar pustaka yg relevan.

F). Benarkan kuesi jawaban & penulisan (Hiden)

6). Perhatikan CP & ATP & TP

↳ sesuai peruntukannya

↳ Lengkapi dengan Madrasah /

Sekolah

**LEMBAR ANGGKET AHLI MATERI  
PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY  
DENGAN MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN  
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

**A. Identitas Validator**

Nama : Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd  
Jabatan : Kepala Laboratorium  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 081225797666  
Alamat :

**B. Petunjuk Pengisian**

1. Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality dengan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan.
2. Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
3. Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
4. Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media dan ahli materi menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 3 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 2 : Tidak Setuju (TS)
5. Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
6. Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini

c. Lembar Angket

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1	2	3	4
1	Standar Kelayakan Isi	Kebenaran dari segi keilmuan	a) Kebenaran bahan ajar dari segi keilmuan				✓
		Kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku	b) Kesesuaian bahan ajar dengan kurikulum yang berlaku				✓
		Kesesuaian dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	c) Kesesuaian bahan ajar dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan				✓
		Kesesuaian dengan konteks dan lingkungan	d) Kesesuaian bahan ajar dengan konteks dan lingkungan				✓
		Kusatupadukan antar bagian isi	e) Kusatupadukan antar bagian isi bahan ajar			✓	
2	Kelayakan penyampaian isi bahan ajar	Penyampaian pola isi buku sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi dan kemampuan berbahasa peserta didik	f) Penyajian materi runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik			✓	
			g) Penyajian materi pada bahan ajar sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik			✓	
3	Kelayakan penggunaan bahasa bahan ajar	Penggunaan bahasa yang tepat dan komunikatif pada bahan ajar sesuai dengan tingkat penguasaan bahasa peserta didik	h) Tingkat kesederhanaan atau tingkat kerumitan sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik				✓
			i) Ketaatan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku			✓	
4	Komponen keterampilan berpikir kritis	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	j) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)				✓

**D. Komentar dan Saran**

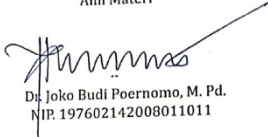
A. Instrumen layak digunakan penelitian, perbaikan beberapa bagian!

**E. Kesimpulan**

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
2. Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang.....  
Ahli Materi

  
Dr. Joko Budi Poernomo, M. Pd.  
NIP. 197602142008011011

## Lampiran 9 Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 2)

### LEMBAR ANGGKET AHLI MEDIA PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

#### A. Identitas Validator

Nama : Dr. Andi Fadlan, S. Si., M. Sc.  
Jabatan : Dosen Fisika  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 081325648165  
Alamat : Ngaliyan Semarang

#### B. Petunjuk Pengisian

- Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan *Augmented Reality* dengan *Model Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan.
- Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
- Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
- Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 2 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 1 : Tidak Setuju (TS)
- Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
- Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini.

#### C. Lembar Angket

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1 TS	2 KS	3 S	4 SS
1	Desain Bahan Ajar	Penggunaan ilustrasi	a) Ketepatan objek ilustrasi			✓	
			b) Kemenarikan ilustrasi			✓	
		Penggunaan halaman isi	c) Kejelasan dan keterbacaan isi			✓	
			d) Kemenarikan halaman depan				✓

		Desain kover/halaman depan	e) Kejelasan dan keterbacaan halaman depan				✓
2	Grafik Bahan Ajar	Kualitas hasil cetak	f) Kualitas format/ukuran buku			✓	
		Kualitas Augmented Reality	g) Kualitas cetak			✓	
			h) keterbacaan pada perangkat			✓	
			i) kemudahan dalam penggunaan			✓	

#### D. Komentar dan Saran

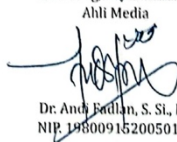
1. Ukuran huruf pada buku terlalu kecil
2. Ilustrasi gelombang pada halaman 20 (gambar 2) berbentuk klips, kuykars, atau huruf 2D

#### E. Kesimpulan

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
- ② Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang, 7-10-2024  
Ahli Media



Dr. Andi Fadlan, S. Si., M. Sc.  
NIP. 198009152005011006

**LEMBAR ANGKET AHLI MATERI**  
**PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN**  
**MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN**  
**BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

**A. Identitas Validator**

Nama : Dr. Andi Fadlan, S. Si., M. Sc.  
Jabatan : Dosen Fisika  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 081325648165  
Alamat : Ngaliyan Semarang

**B. Petunjuk Pengisian**

1. Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality dengan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan.
2. Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
3. Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
4. Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media dan ahli materi menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 3 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 2 : Tidak Setuju (TS)
5. Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
6. Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini

C. Lembar Angket

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1	2	3	4
1	Standar Kelayakan Isi	Kebenaran dari segi keilmuan	a) Kebenaran bahan ajar dari segi keilmuan			✓	
		Kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku	b) Kesesuaian bahan ajar dengan kurikulum yang berlaku				✓
		Kesesuaian dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	c) Kesesuaian bahan ajar dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan			✓	
		Kesesuaian dengan konteks dan lingkungan	d) Kesesuaian bahan ajar dengan konteks dan lingkungan				✓
		Kusatupadukan antar bagian isi	e) Kusatupadukan antar bagian isi bahan ajar				✓
2	Kelayakan penyampaian isi bahan ajar	Penyampaian pola isi buku sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi dan kemampuan berbahasa peserta didik	f) Penyajian materi runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik				✓
			g) Penyajian materi pada bahan ajar sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik				✓
3	Kelayakan penggunaan bahasa bahan ajar	Penggunaan bahasa yang tepat dan komunikatif pada bahan ajar sesuai dengan tingkat penguasaan bahasa peserta didik	h) Tingkat kesederhanaan atau tingkat kerumitan sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik			✓	
			i) Ketaatan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku			✓	
4	Komponen keterampilan berpikir kritis	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	j) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)		✓		

D. Komentar dan Saran

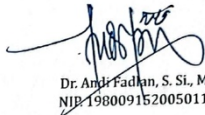
1. Catatan dan saran secara detail sangat bermanfaat bagi bahan ajar
2. Kemampuan berpikir kritis belum sepenuhnya di-kembangkan melalui bahan ajar, sebaiknya bisa lebih diperdalam lagi.

E. Kesimpulan

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
2. Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang, 7-10-2024  
Ahli Materi



Dr. Andi Fadhan, S. Si., M. Sc.  
NIP.198009152005011006

## Lampiran 10 Lembar Penilaian Ahli Media dan Ahli Materi (Validator 3)

### LEMBAR ANGKET AHLI MEDIA PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

#### A. Identitas Validator

Nama : Agus Sudarmanto, M. Si.  
Jabatan : Dosen Fisika  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 08122530409  
Alamat :

#### B. Petunjuk Pengisian

- Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan *Augmented Reality* dengan *Model Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan.
- Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
- Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
- Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 2 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 1 : Tidak Setuju (TS)
- Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
- Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini.

#### C. Lembar Angket

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1	2	3	4
				TS	KS	S	SS
1	Desain Bahan Ajar	Penggunaan ilustrasi	a) Ketepatan objek ilustrasi				✓
			b) Kemenarikan ilustrasi			✓	
		Penggunaan halaman isi	c) Kejelasan dan keterbacaan isi				✓
			d) Kemenarikan halaman depan			✓	

		Desain kover/halaman depan	e) Kejelasan dan keterbacaan halaman depan				✓
2	Grafik Bahan Ajar	Kualitas hasil cetak	f) Kualitas format/ukuran buku			✓	
			g) Kualitas cetak			✓	
		Kualitas <i>Augmented Reality</i>	h) keterbacaan pada perangkat			✓	
			i) kemudahan dalam penggunaan			✓	

D. Komentar dan Saran

1. hal 9 diagram 1 diberi kotak dihilangkan saja dan yg lainnya sama keaman 2  
 2. contoh AR jangan hanya 2 ditambahkan atf jenis data: foto or gambar dan gambar bergerak umum

.....  
 .....  
 .....  
 .....

E. Kesimpulan

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
2. Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang, 4-10-2024  
 Ahli Media



Agus Sudarmanto, M. Si.  
 NIP. 197708232009121001

**LEMBAR ANGKET AHLI MATERI**  
**PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN**  
**MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN**  
**BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK**

Mata Pelajaran : Fisika  
Materi : Gelombang Bunyi

**A. Identitas Validator**

Nama : Agus Sudarmanto, M. Si.  
Jabatan : Dosen Fisika  
Instansi : UIN Walisongo Semarang  
Nomor Whatsapp : 08122530409  
Alamat :

**B. Petunjuk Pengisian**

1. Mohon ketersediaan Bapak/Ibu untuk memberikan penilaian terhadap produk Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality dengan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta didik dengan mencakup aspek-aspek yang telah diberikan. \_
2. Sebelum mengisi lembar validasi ini, mohon Bapak/Ibu terlebih dahulu membaca atau mempelajari bahan ajar yang dikembangkan.
3. Mohon Bapak/Ibu menjawab pertanyaan-pertanyaan instrumen dengan memberikan tanda cek (V) pada kolom yang telah tersedia guna mengetahui kelayakan bahan ajar yang dikembangkan.
4. Berikut merupakan kriteria penilaian yang digunakan dalam lembar validasi ahli media dan ahli materi menggunakan skala Likert:  
Skor 4 : Sangat Setuju (SS)  
Skor 3 : Setuju (S)  
Skor 3 : Kurang Setuju (KS)  
Skor 2 : Tidak Setuju (TS)
5. Mohon Bapak/Ibu memberikan kritik dan saran pada lembar yang telah disediakan.
6. Terima kasih banyak atas ketersediaan Bapak/Ibu untuk mengisi lembar validasi ini

C. Lembar Angket

No.	Aspek	Indikator	Butir Penilaian	Skor			
				1	2	3	4
1	Standar Kelayakan Isi	Kebenaran dari segi keitmuian	a)Kebenaran bahan ajar dari segi keitmuian				✓
		Kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku	b) Kesesuaian bahan ajar dengan kurikulum yang berlaku				✓
		Kesesuaian dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	c)Kesesuaian bahan ajar dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan				✓
		Kesesuaian dengan konteks dan lingkungan	d) Kesesuaian bahan ajar dengan konteks dan lingkungan				✓
		Kusatupadukan antar bagian isi	e)Kusatupadukan antar bagian isi bahan ajar				✓
2	Kelayakan penyampaian isi bahan ajar	Penyampaian pola isi buku sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi dan kemampuan berbahasa peserta didik	f) Penyajian materi runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik				✓
			g)Penyajian materi pada bahan ajar sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik				✓
3	Kelayakan penggunaan bahasa bahan ajar	Penggunaan bahasa yang tepat dan komunikatif pada bahan ajar sesuai dengan tingkat penguasaan bahasa peserta didik	h) Tingkat kesederhanaan atau tingkat kerumitan sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik				✓
			i) Ketaatasaan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku			✓	
4	Komponen keterampilan berpikir kritis	Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	j) Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)				✓

**D. Komentar dan Saran**

1. Ukuran 1. V nya kecil
2. Ukuran 2. V nya kecil dan Content keahsan

**E. Kesimpulan**

Bahan ajar berbantuan *Augmented Reality* dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik, dinyatakan :

1. Layak digunakan tanpa revisi
2. Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
3. Belum layak digunakan

Semarang, 4-10-2024

Ahli Materi



Agus Sudarmanto, M. Si.  
NIP. 197708232009121001

## Lampiran 11 Hasil Penilaian Ahli Materi Validator 1, 2, dan 3

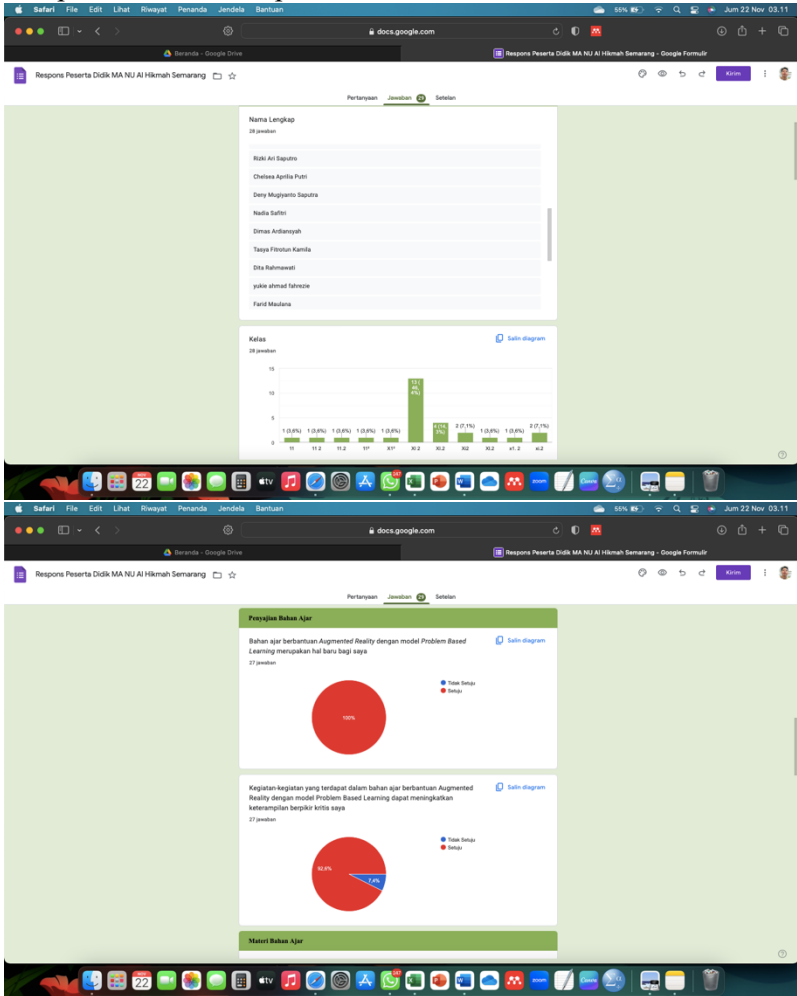
<b>Butir Penilaian</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>Skor Maksimum</b>	<b>Persentase kelayakan</b>	<b>kategori</b>
Kebenaran bahan ajar dari segi keilmuan	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
Kesesuaian bahan ajar dengan kurikulum yang berlaku	4	4	4	12	100%	Sangat layak
Kesesuaian bahan ajar dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
Kesesuaian bahan ajar dengan konteks dan lingkungan	4	4	4	12	100%	Sangat layak
Kusatupadukan antar bagian isi bahan ajar	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak
Penyajian materi runtut dan berkesinambungan sesuai dengan tingkat perkembangan psikologi peserta didik	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak
Penyajian materi pada bahan ajar sesuai dengan kemampuan	3	4	4	12	91,7%	Sangat layak

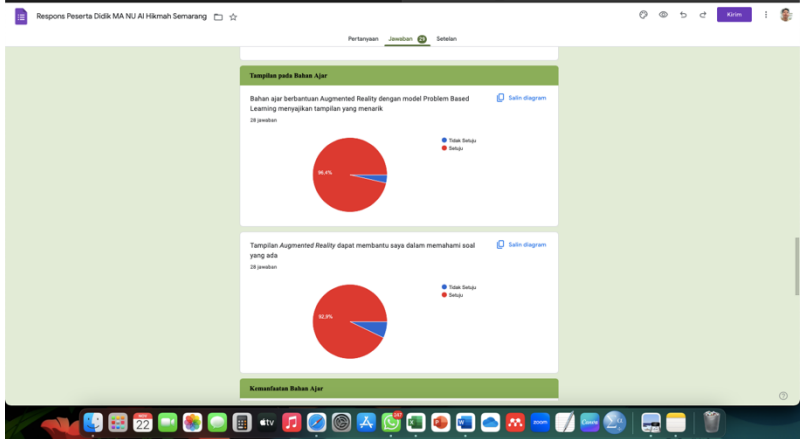
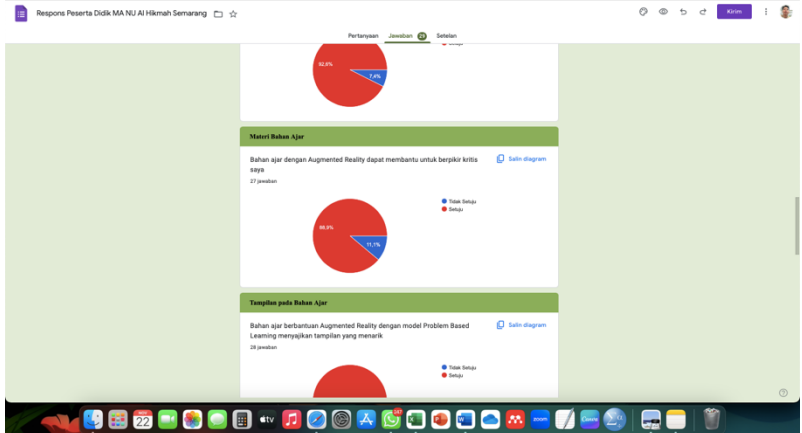
berbahasa peserta didik						
Tingkat kesederhanaan atau tingkat kerumitan bahasa sesuai dengan kemampuan berbahasa peserta didik	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
Ketaatan terhadap pedoman kebahasaan yang berlaku khusus pada ragam naskah yang menggunakan bahasa baku	3	3	3	12	75%	Layak
Materi yang disajikan dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik mengacu indikator yang dirumuskan oleh Ennis (2011)	4	2	3	12	75%	Layak
<b>Rata-rata</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	<b>12</b>	<b>90%</b>	<b>Sangat Layak</b>

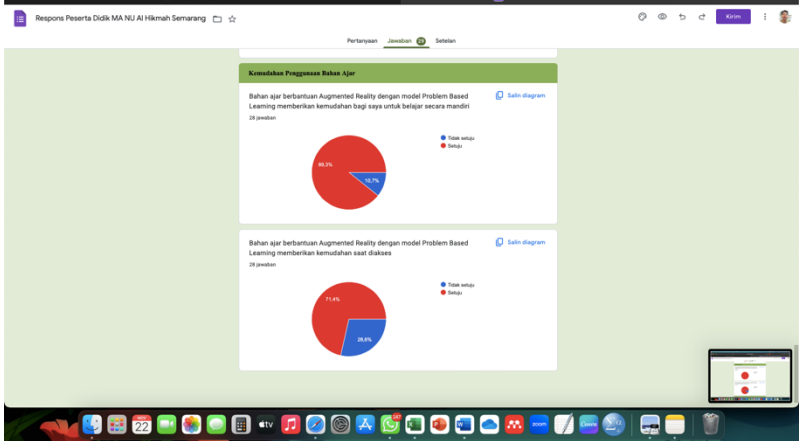
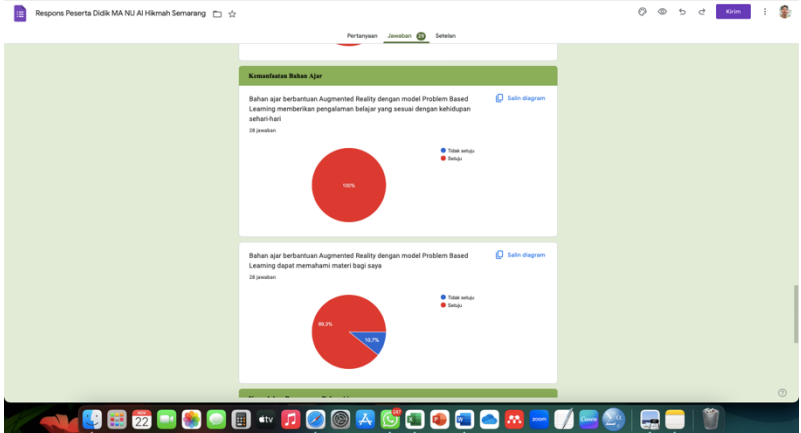
Lampiran 12 Hasil Penilaian Ahli Media Validator 1, 2, dan 3

<b>Butir penilaian</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>SM</b>	<b>Persentase kelayakan</b>	<b>Kategori</b>
Ketepatan objek ilustrasi	4	3	4	12	91,7%	Sangat layak
Kemenarikan ilustrasi	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kejelasan dan keterbacaan	3	3	4	12	83,4%	Sangat layak
Kemenarikan halaman depan	4	4	3	12	91,7%	Sangat layak
Kejelasan dan keterbacaan halaman depan	4	4	4	12	100%	Sangat layak
Kualitas format/ukuran bahan ajar	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kualitas cetak	3	3	3	12	75%	Layak
Keterbacaan perangkat	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
Kemudahan penggunaan	4	3	3	12	83,4%	Sangat layak
<b>Rata-rata</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>12</b>	<b>87,5%</b>	<b>Sangat layak</b>

# Lampiran 13 Hasil Respons Peserta Didik







## Lampiran 14 Tampilan Bahan Ajar



\* Bahan ajar ini digunakan sebagai salah satu instrumen penelitian skripsi oleh Muhammad Arifin Ilham dan di bimbing oleh Affa Ardhi Saputri, M. Pd. dan Fachrizal Rian Pratama, M. Sc.

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	1
DAFTAR GAMBAR	2
PANDUAN PENGGUNAAN BAHAN AJAR	3
A. Bagi Guru .....	3
B. Bagi Siswa .....	3
GELOMBANG BUNYI	4
Capaian Pembelajaran .....	4
Tujuan Pembelajaran .....	4
Profil Pelajar Pancasila.....	4
A. Pengertian Gelombang Bunyi .....	5
B. Klasifikasi Gelombang Bunyi .....	7
C. Dawai .....	11
D. Pipa Organa .....	15
E. Intensitas dan Taraf Intensitas.....	19
F. Efek Doppler.....	21
LATIHAN SOAL	24
GLOSARIUM	27
DAFTAR PUSTAKA	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara infrasonik .....	7
Gambar 2. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara audiosonik .....	8
Gambar 3. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara ultrasonik .....	9
Gambar 4. Gitar Sumber: <a href="https://zonabanten.pikiran-rakyat.com">https://zonabanten.pikiran-rakyat.com</a> .....	11
Gambar 5. Ilustrasi nada dasar dawai Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	12
Gambar 6. Ilustrasi nada atas pertama dawai Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	12
Gambar 7. Ilustrasi nada atas kedua dawai Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	12
Gambar 8. Anak sedang meniup terompet Sumber: <a href="https://www.kelaspintar.id/blog/tips-pintar/pipa-organa-dalam-ilmu-fisika-10839">https://www.kelaspintar.id/blog/tips-pintar/pipa-organa-dalam-ilmu-fisika-10839</a> .....	15
Gambar 9. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Tertutup Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	15
Gambar 10. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Tertutup Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	15
Gambar 11. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Terbuka Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	16
Gambar 12. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Terbuka Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	16
Gambar 13. Ilustrasi Nada Atas kedua Pipa Organa Terbuka Sumber: <a href="https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm">https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm</a> .....	16
Gambar 14. Ilustrasi anak berlari ke sekolah .....	19
Gambar 15. Kereta api diidentikkan dengan gelombang sumber: <a href="https://profmikra.org/?p=2986">https://profmikra.org/?p=2986</a> .....	21
Gambar 16. Skema arah terjadinya efek doppler .....	23

**PANDUAN PENGGUNAAN BAHAN AJAR  
BERBANTUAN AUGMENTED REALITY DENGAN MODEL PROBLEM BASED  
LEARNING UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS**

**A. Bagi Guru**

Panduan bagi guru agar berhasil dalam membimbing dan menuntun peserta didik untuk memahami materi dan melaksanakan kegiatan-kegiatan yang terdapat dalam bahan ajar ini, maka ikutilah petunjuk berikut:

1. Bacalah doa terlebih dahulu, agar diberikan kemudahan dan kelancaran oleh Allah.
2. Berikan apersepsi atau pemahaman awal kepada peserta didik saat awal pembelajaran.
3. Berikan bimbingan kepada peserta didik dalam proses belajar.
4. Jadilah fasilitator bagi peserta didik.
5. Bantulah peserta didik dalam memecahkan masalah.
6. Lakukan evaluasi dan refleksi

**B. Bagi Siswa**

Panduan bagi peserta didik agar berhasil dalam menguasai materi, melaksanakan kegiatan-kegiatan yang ada dalam bahan ajar, dan mampu menerapkan ilmu yang diperolehnya dalam kehidupan sehari-hari, maka ikutilah petunjuk berikut dengan benar, yaitu:

1. Sebelum memulai kegiatan maka awali belajar dengan membaca basmalah dan doa terlebih dahulu.
2. Niatkanlah belajar untuk menuntut ilmu karena Allah SWT.
3. Bacalah bahan bacaan atau materi yang terdapat dalam Bahan Ajar dengan seksama.
4. Berdiskusilah dalam mempelajari Bahan Ajar Bersama seluruh anggota kelompokmu.
5. Lakukanlah setiap kegiatan yang ada dalam Bahan Ajar dengan bersungguh-sungguh.
6. Utamakan sikap jujur, disiplin, bertanggung jawab, bekerja sama dan saling tolong menolong.
7. Bacalah hamdalah setelah selesai mempelajari Bahan Ajar, agar ilmu yang telah dipelajari diberkati oleh Allah SWT.
8. Lakukan evaluasi dan refleksi secara mandiri

## Gelombang Bunyi

### Capaian Pembelajaran

Pada akhir fase F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor kedalam kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonis, gelombang bunyi dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah, serta menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statis maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi, menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik mampu memberi penguatan pada aspek fisika sesuai dengan minat untuk ke perguruan tinggi yang berhubungan dengan bidang fisika. Melalui kerja ilmiah juga dibangun sikap ilmiah dan profil pelajar Pancasila khususnya mandiri, inovatif, bernalar kritis, kreatif dan bergotong royong.

### Tujuan Pembelajaran

Melalui kegiatan pembelajaran dengan model *Problem Based Learning* peserta didik dapat:

1. Menerapkan konsep gelombang bunyi
2. Menganalisis karakteristik gelombang bunyi
3. Menjelaskan syarat-syarat terjadinya bunyi dengan tepat
4. Menganalisis jenis bunyi berdasarkan frekuensi
5. menyelidiki perbedaan cepat rambat bunyi pada zat padat, zat cair dan gas
6. Menganalisis dawai, pipa organa, taraf intensitas, dan efek doppler.
7. Melakukan percobaan gelombang bunyi dengan sikap rasa ingin tahu, jujur, tanggung jawab memiliki sikap responsif (berpikir kritis) dan proaktif

### Profil Pelajar Pancasila

Dalam kegiatan pembelajaran sesuai dengan Profil Pelajar Pancasila:

1. Menetapkan tujuan dan rencana, serta mengembangkan kendali dan disiplin diri (Mandiri).
2. Menunjukkan kolaborasi dan komunikasi untuk tujuan bersama (Bergotong-royong)
3. Memperoleh dan mengolah informasi serta menganalisis, mengevaluasi, merefleksikan, dan mengevaluasi pikirannya sendiri (Bernalar kritis)

## A. Pengertian Gelombang Bunyi



### Apa sih Gelombang Bunyi? Bagaimana gelombang bunyi itu bisa terjadi?

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas. Cepat rambat bunyi tergantung pada sifat-sifat medium rambat, maka bunyi mempunyai cepat rambat yang dipengaruhi oleh dua faktor yaitu :

1. Kerapatan partikel medium yang dilalui bunyi. Semakin rapat susunan partikel medium maka semakin cepat bunyi merambat, sehingga bunyi merambat paling cepat pada zat padat.
2. Suhu medium, Semakin tinggi suhu medium yang dilalui maka semakin cepat bunyi merambat.

Berikut adalah beberapa besaran fisika dalam gelombang bunyi:

#### 1. Frekuensi

Frekuensi gelombang bunyi menentukan tinggi atau rendahnya nada yang didengar. Frekuensi diukur dalam Hertz (Hz). Gelombang bunyi dengan frekuensi tinggi menghasilkan nada tinggi, sedangkan gelombang bunyi dengan frekuensi rendah menghasilkan nada rendah.

#### 2. Amplitudo

Amplitudo gelombang bunyi berhubungan dengan volume atau kekuatan suara. Amplitudo yang lebih besar berarti suara yang lebih keras, sedangkan amplitudo yang lebih kecil berarti suara yang lebih lembut.

#### 3. Kecepatan

Kecepatan gelombang bunyi tergantung pada medium tempat gelombang tersebut merambat. Kecepatan bunyi pada suhu kamar, di udara sekitar 343 meter per detik. Kecepatan ini bisa meningkat atau menurun tergantung pada suhu, kepadatan udara, atau jenis medium.

#### 4. Panjang Gelombang

Panjang gelombang adalah jarak antara dua titik berturut-turut yang sama pada gelombang, seperti dari puncak ke puncak atau lembah ke lembah. Panjang gelombang berhubungan dengan frekuensi dan kecepatan gelombang bunyi.

#### 5. Periode

Periode adalah waktu yang diperlukan untuk satu siklus gelombang bunyi melewati suatu titik kesetimbangan. Ini adalah kebalikan dari frekuensi. Semakin tinggi frekuensi, semakin kecil periodenya.

#### 6. Intensitas

Intensitas bunyi mengacu pada daya atau energi yang dibawa oleh gelombang bunyi per unit area. Ini mempengaruhi seberapa keras bunyi yang dirasakan oleh pendengar. Intensitas biasanya diukur dalam desibel (dB).

#### 7. Refleksi, Pembiasan, dan Difraksi

Gelombang bunyi dapat dipantulkan (refleksi), dibiaskan (pembiasan), atau dibelokkan (difraksi) ketika berinteraksi dengan berbagai permukaan atau medium. Ini dapat mempengaruhi bagaimana bunyi terdengar dan persepsi suara di lingkungan tertentu.

#### 8. Interferensi

Ketika dua atau lebih gelombang bunyi bertemu, mereka dapat saling memperkuat (interferensi konstruktif) atau saling mengurangi (interferensi destruktif), sehingga mempengaruhi kualitas suara.

Karakteristik-karakteristik ini saling berhubungan dan bersama-sama menentukan bagaimana kita mengalami dan memahami bunyi di sekitar kita. Ada beberapa syarat dasar harus dipenuhi antara lain:

##### 1. Sumber Bunyi

Bunyi dihasilkan oleh getaran atau pergerakan suatu objek. Sumber bunyi ini bisa berupa alat musik, suara vokal manusia, atau mesin. Tanpa sumber bunyi, tidak akan ada getaran yang bisa menghasilkan gelombang bunyi.

##### 2. Medium Perambatan

Gelombang bunyi memerlukan medium untuk merambat. Medium ini bisa berupa udara, air, atau benda padat. Bunyi tidak dapat merambat melalui ruang hampa karena tidak ada partikel untuk mentransmisikan getaran. Dalam medium yang lebih padat, seperti logam atau air, bunyi dapat merambat lebih cepat dibandingkan dengan udara.

### 3. Getaran

Sumber bunyi harus bergetar. Getaran ini menciptakan perubahan tekanan di sekitarnya yang merambat dalam bentuk gelombang melalui medium. Getaran ini merupakan inti dari proses pembentukan bunyi.

Penerima Bunyi: Untuk mendengar bunyi, ada harus adanya penerima atau pendengar yang dapat menangkap gelombang bunyi. Penerima ini, seperti telinga manusia atau mikrofon, akan mengubah gelombang bunyi menjadi sinyal yang bisa diproses atau didengar.

### 4. Lingkungan

Lingkungan di sekitar juga dapat mempengaruhi cara bunyi didengar. Misalnya, suhu, kelembapan, dan tekanan udara dapat memengaruhi kecepatan bunyi. Begitu juga dengan kondisi lingkungan seperti adanya penghalang atau pantulan, yang dapat mempengaruhi persepsi dan kualitas bunyi.

Ketika semua syarat ini terpenuhi, bunyi bisa dihasilkan dan didengar oleh pendengar.



Mari Menalar

Apakah astronot bisa berkomunikasi dengan astronot lain? Jelaskan hal tersebut bisa terjadi menggunakan teori fisika!

## B. Klasifikasi Gelombang Bunyi

Berdasarkan frekuensinya, gelombang bunyi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik.

### 1. Infrasonik (<20Hz)

Tidak ada suara yang kita dengar bukan berarti tidak ada bunyi sama sekali. Namun, kemungkinan bunyi tersebut berada di luar rentang pendengaran manusia. Bunyi infrasonik memiliki frekuensi di bawah 20 hertz sedangkan manusia baru bisa mendengar pada rentang 20 hertz ke atas (Encyclopedia Britannica). Contoh bunyi infrasonik dalam kehidupan sehari-hari adalah:



Gambar 1. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara infrasonik

- a) Suara gajah memanggil kelompoknya.
- b) Suara pergeseran lempeng tektonik.
- c) Suara gelombang air laut.
- d) Aktivitas seismik gunung berapi
- e) Suara gempa bumi Suara peluncuran misil
- f) Suara mesin pendingin
- g) Suara kawah gunung berapi.
- h) Komunikasi kuda nil, merak, aligator, buaya, hiu, katak, dan okapis.
- i) Suara macan ketika memperingati lawannya.
- j) Suara dari fenomena atmosfer seperti angin dan kilat

Menurut National Toxicology Program dalam *Infrasound: Brief of Toxicological Literature* (2001), bunyi infrasonik juga dihasilkan oleh kendaraan, namun biasanya rentang bunyi kendaraan luas sehingga ada yang termasuk bunyi infrasonik ada juga yang termasuk ke dalam audiosonik.

## 2. Audiosonik (20-20000Hz)

Suara audiosonik berada dalam rentang frekuensi 20 hertz hingga 20.000 hertz dan merupakan rentang suara yang dapat didengar manusia (U. S. National Park Service). Suara audiosonik adalah semua suara yang kita dengar dalam kehidupan sehari-hari, contohnya:



Gambar 2. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara audiosonik

- a) Suara kucing, ayam, anjing, dan berbagai jenis burung.
- b) Suara yang dihasilkan manusia ketika bicara, berbisik, bernyanyi, dan berteriak.
- c) Suara gemuruh mesin kendaraan.
- d) Bunyi yang dihasilkan benturan benda.
- e) Bunyi gemerisik daun.
- f) Suara gemuruh air terjun.

### 3. Ultrasonik (>20000Hz)

Bunyi ultrasonik memiliki rentang suara di atas 20 ribu hertz dan tidak dapat didengar oleh manusia. berikut adalah contoh bunyi ultrasonik dalam kehidupan sehari-hari:



Gambar 3. Ilustrasi hewan yang mengeluarkan suara ultrasonik

- a) Gelombang yang dihasilkan elektrokardiogram.
- b) Gelombang yang dihasilkan alat ultrasonografi (USG).
- c) Alat navigasi lumba-lumba, paus orca, paus sperma, dan berbagai jenis kelelawar.
- d) Alat komunikasi tarsius, tikus, dan berbagai jenis serangga.
- e) Bunyi yang dikeluarkan kukang dan sloth sebagai peringatan bahaya.
- f) Bunyi yang dikeluarkan sonar kapal laut.
- g) Gelombang yang dihasilkan alat pembersihan ultrasonik.
- h) Alat terapi untuk penyembuhan tumor dan kanker.
- i) Alat operasi atau pembedahan tanpa sayatan.

Cepat rambat bunyi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Keterangan :

$v$ : cepat rambat bunyi ( $m/s$ )

$\lambda$ : panjang gelombang bunyi ( $m$ )

$f$ : frekuensi bunyi( $Hz$ )

Cepat rambat bunyi tergantung pada mediumnya, dibagi menjadi 3 antara lain:

- a) Cepat rambat bunyi di dalam medium gas

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{Mr}} \quad (2)$$

$v$  = cepat rambat bunyi ( $m/s$ )

$\gamma$  = tetapan Laplace

$R$  = tetapan gas umum ( $J/mol K$ )

$T$  = suhu mutlak ( $K$ )

$Mr$  = massa molekul relatif ( $kg/mol$ )

b) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat cair

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

(3)

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$B$  = Modulus Bulk ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

c) Cepat rambat bunyi di dalam medium zat padat

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

(4)

$v$  = cepat rambat bunyi (m/s)

$E$  = Modulus Young ( $N/m^2$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

#### Contoh Soal

Berapa kecepatan perambatan gelombang bunyi di dalam air, jika diketahui modulus Bulk air  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$  dan massa jenis air  $10^3 kgm^{-3}$ . Berapa pula panjang gelombang, jika frekuensinya 1 kHz?

#### Penyelesaian:

Diketahui :

Modulus Bulk =  $2,25 \times 10^9 Nm^{-2}$

$\rho = 10^3 kgm^{-3}$

$f = 10^3 Hz$

Kecepatan perambatan bunyi

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2,25 \times 10^9}{10^3}} = 1500$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{1000} = 1,5 m$$



### Mari Berdiskusi

1. Apa saja klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi? Jelaskan perbedaan masing-masing klasifikasi gelombang bunyi berdasarkan frekuensi!
2. Bagaimana perbedaan bunyi menurut pengamat saat siang ataupun malam?

### C. Dawai

Coba Anda kamu memetik gitar dengan lebih kencang, pasti suaranya lebih nyaring. Bandingkan dengan petikan yang lembut dan pelan, pasti bunyi yang keluar akan lebih rendah. Mengapa demikian?



Gambar 4. Gitar Sumber:  
<https://zonabanten.pikiran-rakyat.com>

Ketika Anda memainkan gitar di bagian depan (dekat leher gitar), pasti bunyinya nyaring. Itu artinya, semakin pendek jaraknya, frekuensinya semakin tinggi (berbanding terbalik). Begitu pula dengan massa jenis, dan luas permukaan senarnya. Yang dimaksud dengan luas permukaan senar di sini penampang dari senar / dawai dan tentu kecil sekali kan penampangnya? Artinya, semakin kecil luas permukaannya maka frekuensinya besar. Adapun variabel yang berbanding lurus terhadap frekuensi adalah gaya.

Gitar adalah salah satu alat musik yang menggunakan dawai sebagai sumber bunyinya. Saat senar gitar dipetik dengan jalan menekan bagian tertentu, maka akan menghasilkan nada-nada yang berbeda. Nada yang dihasilkan dengan pola paling sederhana disebut nada dasar, kemudian secara berturut-turut pola gelombang yang terbentuk menghasilkan nada atas ke 1, nada atas ke 2, nada atas ke 3 dan seterusnya. Baca dengan baik uraian tentang nada-nada pada dawai.

- Nada Dasar

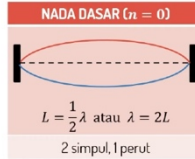
Nada Dasar terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk 1/2 gelombang seperti pada gambar:

Tali dengan panjang L membentuk  $\frac{1}{2} \lambda$

Sehingga :  $L = \frac{1}{2} \lambda$  maka  $\lambda = 2L$

Maka frekuensi nada dasar adalah,

$$f_0 = \frac{v}{2L} \quad (5)$$



Gambar 5. Ilustrasi nada dasar dawai  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

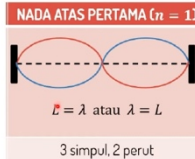
- Nada Atas ke Satu

Nada atas ke satu terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk 1 gelombang. Tali dengan panjang L membentuk  $1 \lambda$ .

Sehingga :  $L = 1 \lambda$  maka  $\lambda = L$

Maka frekuensi nada atas ke 1 adalah,

$$f_1 = \frac{v}{L} \quad (6)$$



Gambar 6. Ilustrasi nada atas pertama dawai  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

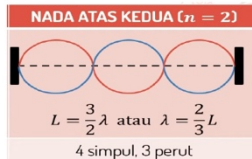
- Nada Atas ke Dua

Nada atas ke dua terjadi apabila sepanjang dawai terbentuk  $1 \frac{1}{2}$  gelombang. Tali dengan panjang L membentuk  $1 \frac{1}{2} \lambda$  atau  $\frac{3}{2} \lambda$ .

Sehingga  $L = \frac{3}{2} \lambda$  maka  $\lambda = \frac{2}{3} L$

Maka frekuensi nada atas ke 2 adalah,

$$f_2 = \frac{2v}{3L} \quad (7)$$



Gambar 7. Ilustrasi nada atas kedua dawai  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa panjang gelombang dan frekuensi nada atas ke n :

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1} \quad (8)$$

dan

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v \quad (9)$$

**PERHATIAN!!!**

Nada harmonik pertama adalah nada dasar ( $n=0$ ), nada harmonik kedua adalah nada atas pertama ( $n=1$ ), dst.

**Contoh Soal**

Sebuah senar bermassa 20 gram yang panjangnya 1 meter ditegangkan dengan gaya 800 N. Berapa frekuensi nada dasar dan nada atas ketiga!

Diketahui:

$$m = 20 \text{ g} = 2 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$F = 800 \text{ N}$$

Ditanya:  $f_0$  dan  $f_3$ ?

Jawab:

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$v = \sqrt{\frac{800 \cdot 1}{2 \times 10^{-2}}}$$

$$f_3 = \frac{3+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_3 = 400 \text{ Hz}$$

$$v = 200 \text{ m/s}$$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$f_0 = \frac{0+1}{2 \cdot 1} 200$$

$$f_0 = 100 \text{ Hz}$$





Aktivitas

Coba lakukan percobaan ini secara berkelompok



- Siapkan gitar, sebuah capo (opsional), dan sebuah aplikasi frekuensi meter.
- Bunyikan senar dari paling atas, catat semua frekuensinya menggunakan tuner.
- Lakukan eksperimen dengan senar yang sama dan divariasikan (senar 1 sebagai contoh).
- Sekarang lakukan pada senar yang sama, gunakan capo / ditekan dengan tangan untuk memendekkan senar dari leher gitar.

Lembar Kerja

Percobaan	Panjang	Frekuensi
1		
2		
3		
4		
5		

Pertanyaan:

1. Bagaimana hubungan antara panjang senar dengan frekuensi?
2. Bagaimana frekuensi bunyi ketika panjang senar diperpendek ataupun diperpanjang?

Kesimpulan yang didapat dari hasil eksperimen adalah

.....

.....

.....

.....

## D. Pipa Organa



Gambar 8. Anak sedang meniup terompet  
Sumber: <https://www.kelaspintar.id/blog/tips-pintar/pipa-organa-dalam-ilmu-fisika-10839>

Saat kalian memainkan alat musik tiup, seperti seruling, terompet, hingga klarinet misalnya, apakah kalian tahu dari mana suara yang dihasilkan berasal dan bagaimana prosesnya?

Sumber bunyi yang menggunakan kolom udara sebagai sumber getarnya disebut juga pipa organa contohnya pada seruling, trompet, atau piano. Pipa organa dibagi menjadi pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

### 1. Pipa Organa Tertutup

#### a. Nada Dasar

Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $1/4$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada dasar.

$$L = 1/4 \lambda \text{ maka } \lambda = 4L$$

sehingga persamaan frekuensi nada dasar untuk pipa organa tertutup.

$$f_0 = \frac{v}{4L}$$

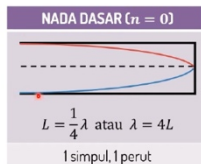
(10)

#### b. Nada Atas ke 1

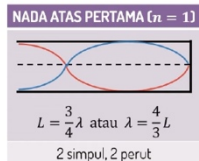
Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $3/4$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 1.

$$L = 3/4 \lambda \text{ maka } \lambda = 4/3 L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 1 untuk pipa organa tertutup.



Gambar 9. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Tertutup  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4SM7si=X3YA051YKAT4-bVm>



Gambar 10. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Tertutup  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM7si=X3YA051YKAT4-bVm>

$$f_1 = \frac{3v}{4L}$$

(11)

## 2. Pipa Organa Terbuka

### a) Nada Dasar

Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $1/2$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada dasar.

$$L = \frac{1}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = 2L$$

sehingga persamaan frekuensi nada dasar untuk pipa organa terbuka.

$$f_0 = \frac{v}{2L}$$

(12)

### b) Nada Atas ke 1

Jika sepanjang pipa organa terbentuk 1 gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 1.

$$L = 1 \lambda \text{ maka } \lambda = L$$

sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 1 untuk pipa organa terbuka.

$$f_0 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L}$$

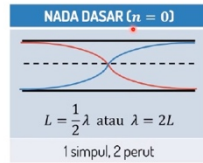
(13)

### c) Nada Atas ke 2

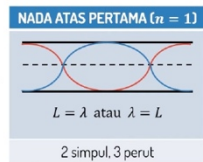
Jika sepanjang pipa organa terbentuk  $3/2$  gelombang, maka nada yang dihasilkannya disebut nada atas ke 2.

$$L = \frac{3}{2} \lambda \text{ maka } \lambda = \frac{2}{3} L$$

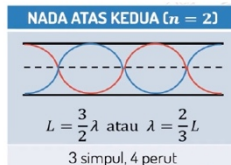
sehingga persamaan frekuensi nada atas ke 2 untuk pipa organa terbuka.



Gambar 11. Ilustrasi Nada Dasar Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>



Gambar 12. Ilustrasi Nada Atas Pertama Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>



Gambar 13. Ilustrasi Nada Atas kedua Pipa Organa Terbuka  
Sumber: <https://youtu.be/Rbamn4w4vSM?si=X3YA051YKAT4-bVm>

$$f_0 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L} \quad (14)$$

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi dan panjang gelombang nada atas ke n pada pipa organa terbuka dapat ditentukan dengan rumus

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1} \quad (15)$$

Atau

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v \quad (16)$$

**PERHATIAN!!!**

Nada harmonik pertama adalah nada dasar (n=0), nada harmonik kedua adalah nada atas pertama (n=1), dst.

**Contoh Soal**

- Sebuah pipa organa yang terbuka dua ujungnya memiliki nada dasar dengan frekuensi sebesar 600 Hz. Berapa besar frekuensi dari
  - Nada atas pertama
  - Nada atas kedua
  - Nada atas ketiga

**Pembahasan:**

Perbandingan nada-nada pada pipa organa terbuka memenuhi dengan:

$f_0$  adalah frekuensi nada dasar

$f_1$  adalah frekuensi nada atas pertama

$f_2$  adalah frekuensi nada atas kedua dan seterusnya

- a) Nada atas pertama  $f_1$     b) Nada atas kedua  $f_2$     c) Nada atas ketiga  $f_3$

$$\frac{f_1}{f_0} = \frac{2}{1}$$

$$\frac{f_2}{f_0} = \frac{3}{1}$$

$$\frac{f_3}{f_0} = \frac{4}{1}$$

$$f_1 = 2 \times f_0$$

$$f_2 = 3 \times f_0$$

$$f_3 = 4 \times f_0$$

$$f_1 = 2 \times 600 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 3 \times 600 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 4 \times 600 \text{ Hz}$$

$$= 1200 \text{ Hz}$$

$$= 1800 \text{ Hz}$$

$$= 2400 \text{ Hz}$$

2. Jika cepat rambat bunyi diudara 340 m/s, berapa frekuensi nada dasar dan frekuensi nada harmonik kedua untuk:

a. Pipa organa terbuka yang panjangnya 68 cm

b. Pipa organa tertutup yang panjangnya 17 cm

**Penyelesaian:**

a.  $l = 0,68 \text{ m}$

$$f_n = \frac{n+1}{2L} v$$

$$f_0 = \frac{0+1}{2 \cdot 0,68} 340 = 250 \text{ Hz}$$

$$f_1 = \frac{1+1}{2 \cdot 0,68} 340 = 500 \text{ Hz}$$

b.  $l = 0,17 \text{ m}$

$$f_n = \frac{2n+1}{4L} v$$

$$f_0 = \frac{2 \cdot 0 + 1}{4 \cdot 0,17} 340 = 500 \text{ Hz}$$

$$f_1 = \frac{2 \cdot 1 + 1}{4 \cdot 0,17} 340 = 1500 \text{ Hz}$$

Mari Bereksperimen



### Eksperimen

Alat dan Bahan :

1. Botol dengan ukuran sama sebanyak 4 atau lebih
2. Spidol
3. Air
4. Stik kayu/sendok

Petunjuk percobaan :

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Susunlah botol, kemudian isikan botol dengan air yang di siapkan
3. Variasikan volume air pada masing-masing botol
4. Kemudian ketuk masing-masing botol menggunakan kayu atau sendok
5. Catatlah apa yang terjadi setelah mengetuk masing-masing botol yang sudah terisi air yang volume bervariasi.

Pertanyaannya :

1. Apa yang terjadi pada praktikum tersebut?
2. Mengapa hal itu bisa terjadi?
3. Jelaskan menggunakan teori fisika!

## E. Intensitas dan Taraf Intensitas

### 1. Intensitas Bunyi



Gambar 14. Ilustrasi anak berlari ke sekolah

Ketika bel tanda masuk sekolah berdering, pernahkah Anda tidak mendengarnya dengan jelas? Kira-kira kenapa hal itu bisa terjadi? Intensitas adalah besaran untuk mengukur kenyaringan bunyi. Intensitas bunyi yaitu energi bunyi yang tiap detik (daya bunyi) yang menembus bidang setiap satuan luas permukaan secara tegak lurus.

Rumus intensitas bunyi di suatu titik oleh beberapa sumber bunyi

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (17)$$

Keterangan:

$I$  = Intensitas Bunyi ( $W/m^2$ )

$P$  = Energi tiap waktu atau daya ( $W$ )

$A$  = Luas ( $m^2$ )

Dapat diketahui intensitas gelombang bunyi pada suatu titik berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari sumber bunyi, maka perbandingan intensitas bunyi di dua tempat yang berbeda jaraknya terhadap satu sumber bunyi adalah :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (18)$$

Ternyata kuat bunyi yang terdengar oleh telinga tidak berbanding lurus dengan besarnya intensitas bunyi. Misalnya, jika intensitas awal  $10^{-5}Wm^{-2}$  dan dinaikkan menjadi  $2 \times 10^{-5}Wm^{-2}$ , ternyata telinga kita tidak mendengar bunyi dua kali lebih kuat, bahkan telinga merasa mendengar bunyi yang hampir sama kuatnya. Oleh karena itu, jangkauan intensitas bunyi yang dapat didengar manusia sangat besar maka dibuatlah suatu besaran yang menyatakan intensitas dalam

bilangan yang lebih kecil. Besaran ini dinamakan taraf intensitas bunyi disingkat TI.

## 2. Taraf Intensitas Bunyi

Pernahkah Anda menonton karnaval sound system yang diiringi suara sirine polisi yang mengawal jalannya karnaval di sekitar tempat Anda tinggal? Mengapa sirine polisi lebih kencang suaranya? Untuk mengetahui kenapa hal bisa terjadi, simaklah penjelasan berikut. Taraf intensitas bunyi adalah *logaritma perbandingan antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang pendengaran*.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (19)$$

Keterangan :

TI = taraf intensitas bunyi (dB)

I = intensitas bunyi (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>0</sub> = intensitas ambang pendengaran (I<sub>0</sub> = 10<sup>-12</sup> watt/m<sup>2</sup>)

Jika terdapat beberapa sumber bunyi yang identik maka taraf intensitasnya menjadi:

$$TI_n = TI_1 + \log n \quad (20)$$

Keterangan:

n = jumlah sumber bunyi

### Contoh Soal

1. Intensitas gelombang bunyi pada jarak 5 meter dari sumber bunyi adalah 2x10<sup>-4</sup> watt/m<sup>2</sup>. Pada jarak 10 m dari sumber bunyi intensitasnya adalah ....

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} &= \frac{r_2^2}{r_1^2} \\ \frac{2.10^{-4}}{I_2} &= \frac{10^2}{5^2} \\ I_2 &= 0,4.10^{-4} \end{aligned}$$

2. Sebuah sumber bunyi mengirim bunyi dengan daya rata-rata 640π watt. Tentukan intensitas dan taraf intensitas bunyi pada jarak 4 meter dari sumber bunyi!

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{640\pi}{4\pi \cdot 16} = 10 \text{ W/m}^2$$

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{10}{10^{-12}} = 10 \log 10^{13} = 10 \cdot 13 = 130$$

3. Taraf intensitas bunyi pada jarak 1 meter dari sumber bunyi adalah 80dB.

Tentukan taraf intensitas pada jarak 10 meter dari sumber bunyi!

Diketahui :

$R_1 = 1$  meter

$R_2 = 10$  meter

$TI_1 = 80$  dB

Ditanya:  $TI_2$  ... ?

Penyelesaian:

$$TI_2 = TI_1 + 20 \log \frac{R_1}{R_2}$$

$$= 80 + 20 \log \frac{1}{10}$$

$$= 80 + 20 \cdot -1.1$$

$$= 80 - 20$$

$$TI_2 = 60 \text{ dB}$$

Ayo menalar



pada suatu hari di ada 2 buah mobil taksi membunyikan klakson dengan frekuensi masing2 mobil 60 dB. kemudian sirine polisi dibunyikan dengan intensitas 150 dB. bagaimana pendapat kamu tentang ketiga klakson transportasi tersebut? apakah sirine polisi memiliki taraf intensitas sama dengan kedua taksi digabungkan?

### F. Efek Doppler

Perhatikan gambar kereta api di samping. Analogikan kecepatan kereta identik dengan kecepatan rambat gelombang. Panjang gerbong kereta api sekitar 12,5 meter. Jika kereta bergerak dengan kecepatan 72 km/jam = 20 m/s maka kita dapat identikkan dengan gelombang sebagai berikut :



Gambar 15. Kereta api diidentikkan dengan gelombang  
sumber: <https://profmikra.org/?p=2986>

$$\lambda = 12,5 \text{ m}$$

$$v = 20 \text{ m/s}$$

Maka frekuensi gelombang adalah

$$f = v \cdot \lambda = 20 \cdot 12,5 = 1,6 \text{ Hz.}$$

Ini artinya, tiap gerbong akan melewati kita yang sedang berdiri setiap 0,625 detik.

Sekarang, bagaimana jika berjalan ke arah datangnya kereta? Kalau ini dilakukan maka Anda akan melihat datangnya gerbong lebih cepat. Gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih cepat daripada kalau kita berdiri. Ini berarti periode tibanya gerbong yang kita ukur lebih kecil atau frekuensi yang kita ukur lebih besar.

Sebaliknya, pada saat bersamaan kita bergerak searah gerak kereta, maka gerbong berikutnya akan mencapai kita lebih lambat. Periode tibanya gerbong yang kita deteksi menjadi lebih panjang, atau frekuensi yang kita ukur menjadi lebih kecil. Jadi frekuensi tibanya gerbong yang kita ukur sangat bergantung pada keadaan kita. Diam, bergerak ke arah datangnya kereta, atau bergerak searah gerak kereta akan menghasilkan catatan frekuensi yang berbeda. Hal serupa bergantung pada gelombang. Dan fenomena ini dinamakah efek doppler.

Efek doppler adalah peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar penerima bunyi ketika sumber bunyi bergerak mendekat atau menjauh. Pada saat sumber suara diam, kedua penerima mendengar besar frekuensi yang sama. Saat sumber suara bergerak, salah satu penerima mendengar frekuensi yang lebih besar dari sebelumnya dan penerima lain mendengar frekuensi yang lebih kecil dari sebelumnya. Persamaan Efek Doppler adalah :

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s \quad (21)$$

Keterangan:

$f_p$  = frekuensi pendengar (Hz)

$f_s$  = frekuensi sumber bunyi (Hz)

$v_p$  = kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  = kecepatan sumber bunyi (m/s)

$v$  = cepat rambat udara (340 m/s)

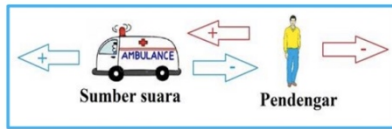
Dalam rumus efek doppler ada beberapa perjanjian tanda

$V_s$  bernilai positif (+) jika sumber bunyi menjauhi pendengar .

$V_s$  bernilai negatif (-) jika sumber bunyi mendekati pendengar.

$V_p$  bernilai positif (+) jika pendengar mendekati sumber bunyi.

$V_p$  bernilai negatif (-) jika pendengar menjauhi sumber bunyi



Gambar 16. Skema arah terjadinya efek doppler

### Contoh Soal

1. Sumber bunyi memancarkan bunyi dengan frekuensi 500Hz saling mendekat dengan pendengar. Kecepatan sumber bunyi 40 m/s dan kecepatan pendengar 50 m/s. Jika kecepatan bunyi di udara adalah 340 m/s, frekuensi bunyi yang didengar oleh pendengar adalah...

Diketahui:

$$f_s = 500 \text{ Hz}$$

$$v_s = 40 \text{ m/s (sumber bunyi mendekati pendengar (-))}$$

$$v_p = 50 \text{ m/s (pendengar mendekati sumber bunyi (+)) } v = 340 \text{ m/s}$$

Ditanya:  $f_p$ ?

Jawab:

$$\frac{v + v_p}{v - v_s} f_s = f_p$$

$$\frac{390}{340 - 400} 500 = f_p$$

$$\frac{390}{300} 500 = f_p$$

$$650 \text{ Hz} = f_p$$

Ayo mengamati



Scan gambar di samping menggunakan aplikasi Assembler Edu.

Sebuah speedboat yang sedang melaju dengan kelajuan 40 km/jam. melihat tona yang tidak bergerak sambil berteriak dengan frekuensi 500Hz. jika cepat rambat bunyi diudara saat itu 340m/s, tentukan frekuensi yang didengar oleh pendengara speedboat itu saat:

- a. mendekati tona
- b. menjauhi tona



1. (1) Merambat melalui ruang hampa  
(2) Membutuhkan medium untuk merambat  
(3) Termasuk gelombang elektromagnetik  
(4) Arah rambatnya sejajar  
Pernyataan tentang gelombang bunyi di bawah ini yang benar adalah....
  - A. 1 dan 2
  - B. 2 dan 3
  - C. 1 dan 3
  - D. 2 dan 4
  - E. 1 dan 4
2. Tinggi rendahnya nada dipengaruhi oleh....
  - A. amplitudo
  - B. cepat rambat gelombang
  - C. medium
  - D. frekuensi
  - E. panjang gelombang
3. Sepotong dawai yang panjangnya 80 cm dan massanya 16 gram dijepit kedua ujungnya dan terentang tegang dengan tegangan 800 N . Frekuensi nada dasar yang dihasilkan adalah....
  - A. 125 Hz
  - B. 150 Hz
  - C. 250 Hz
  - D. 300 Hz
  - E. 375 Hz
4. Seutas dawai memiliki panjang 80 cm dan massa 16 gram. Kedua ujung dawai dijepit sehingga menghasilkan tegangan sebesar 800 N . Frekuensi nada kedua yang dihasilkan adalah ....
  - A. 125 Hz
  - B. 150 Hz
  - C. 250 Hz
  - D. 300 Hz

- E. 375 Hz
5. Jika sebuah pipa organa terbuka ditiup hingga timbul nada atas kedua, maka terjadi :
- A. 3 perut dan 3 simpul
  - B. 3 perut dan 4 simpul
  - C. 4 perut dan 4 simpul
  - D. 4 perut dan 3 simpul
  - E. 4 perut dan 5 simpul
6. Jika sebuah pipa organa yang terbuka memiliki nada dasar dengan frekuensi sebesar 300 Hz. maka besar frekuensi nada atas pertama, nada atas kedua, dan nada atas ketiga berturut-turut adalah ... .
- A. 200 Hz, 300 Hz, dan 500 Hz
  - B. 600 Hz, 900 Hz, dan 1200 Hz
  - C. 400 Hz, 600 Hz, dan 1000 Hz
  - D. 500 Hz, 700 Hz, dan 900 Hz
  - E. 600 Hz, 700 Hz, dan 800 Hz
7. Bunyi ledakan terdengar dengan taraf intensitas 100 dB pada jarak 30 m. Pada jarak 300 m dari sumber ledakan, taraf intensitasnya menjadi...
- A. 60 dB
  - B. 70 dB
  - C. 75 dB
  - D. 80 dB
  - E. 90 dB
8. (1) Kuadrat amplitudo  
(2) Periode  
(3) Kuadrat frekuensi  
(4) Akar rapat massa medium  
Besarnya intensitas bunyi berbanding lurus dengan...
- A. 1 dan 2
  - B. 1 dan 3
  - C. 2 dan 3
  - D. 3 dan 4
  - E. 1 dan 4

9. Sebuah bus bergerak dengan kecepatan  $40 \text{ m/s}$  sambil membunyikan telolet. Jika kecepatan bunyi di udara adalah  $340 \text{ m/s}$ . Maka, perbandingan frekuensi yang di dengar oleh orang yang diam saat bus mendekati dan menjauhinya adalah...
- A.  $11 : 13$
  - B.  $13 : 11$
  - C.  $12 : 14$
  - D.  $15 : 19$
  - E.  $19 : 15$
10. Sebuah mobil pemadam kebakaran dan motor bergerak saling menjauhi. Motor bergerak dengan kecepatan  $40 \text{ m.s}^{-1}$ . Mobil kebakaran membunyikan sirene dengan frekuensi  $400 \text{ Hz}$  dan didengar oleh pengendara motor dengan frekuensi  $300 \text{ Hz}$ . Jika cepat rambat bunyi di udara  $340 \text{ m.s}^{-1}$  maka kecepatan mobil pemadam kebakaran adalah ....
- A.  $20 \text{ m.s}^{-1}$
  - B.  $25 \text{ m.s}^{-1}$
  - C.  $50 \text{ m.s}^{-1}$
  - D.  $60 \text{ m.s}^{-1}$
  - E.  $85 \text{ m.s}^{-1}$

## GLOSARIUM

Amplitudo	: Simpangan maksimum suatu gelombang atau getaran
Cepat Rambat Bunyi	: Panjang gelombang bunyi persatuan waktu
Desibel	: Ukuran taraf intensitas bunyi
Efek Doppler	: Peristiwa naik atau turunnya frekuensi gelombang bunyi yang terdengar penerima bunyi ketika sumber bunyi bergerak mendekat atau menjauh
Frekuensi	: Banyaknya getaran dalam tiap sekon
Gelombang	: Getaran yang merambat
Gelombang Bunyi	: Gelombang yang merambat dari benda yang bergetar
Gelombang Mekanik	: Gelombang yang membutuhkan medium dalam perambatannya
Gelombang Longitudinal	: Gelombang yang arah getarnya sejajar dengan arah rambatannya
Intensitas	: Energi bunyi yang tiap detik (daya bunyi) yang menembus bidang setiap satuan luas permukaan secara tegak lurus
Pipa Organa	: Pipa yang mengeluarkan suara pada nada tertentu ketika ada aliran udara yang ditiupkan pada tekanan tertentu
Suhu	: Ukuran panas dingin suatu benda
Taraf Intensitas	: Logaritma perbandingan antara intensitas bunyi dengan intensitas ambang pendengaran

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). Fisika Dasar II. Bandung: ITB.
- Amalia, R. Latihan Soal Gelombang Bunyi. QUIZIZZ. (Accessed:2024/09/20)
- Anissa, Issi (2020). Modul Pembelajaran SMA FISIKA. Probolinggo
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Boyle's law". Encyclopedia Britannica, 20 Oct. 2022, <https://www.britannica.com/science/Boyles-law>.
- Kangenan, Marthen. 2016. Fisika untuk SMA Kelas XII. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Kemendikbudristek (2020). FISIKA. Jakarta Selatan: Pusat Perbukuan.
- Widodo, Tri. 2009. Fisika : Untuk SMA / MA Kelas X. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

## Lampiran 15 Surat Permohonan Izin Riset



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Alamat: Jl. Prof. Dr. Hamka Km.1 Semarang

E-mail: [fst@walisongo.ac.id](mailto:fst@walisongo.ac.id) Web: [Http://fst.walisongo.ac.id](http://fst.walisongo.ac.id)

Nomor : B.8473/Un.10.8/K/SP.01.08/11/2024 Semarang, 12 November 2024  
Lamp : Proposal Skripsi  
Hal : Permohonan Izin Riset

Kepada Yth.  
Kepala Sekolah MA NU Al Hikmah Semarang  
Jl. KYAI AJI, Polaman, Kec. Mijen, Kota Semarang,  
Jawa Tengah  
di tempat

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Diberitahukan dengan hormat dalam rangka penulisan skripsi, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD ARIFIN ILHAM  
NIM : 2008066044  
Jurusan : PENDIDIKAN FISIKA  
Judul : Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality dengan Model Problem Based Learning untuk meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Semester : IX (Sembilan)

Mahasiswa tersebut membutuhkan data-data dengan tema/judul skripsi yang sedang disusun, oleh karena itu kami mohon mahasiswa tersebut, Meminta ijin melaksanakan Riset di tempat Bapak / ibu pimpin, yang akan dilaksanakan 13 sd 26 november 2024.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*



Tembusan Yth.

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo ( sebagai laporan )
2. Arsip

## Lampiran 16 Analisis Validitas Butir Soal

### Correlations

		Soal01	Soal02	Soal03	Soal04	Soal05	Soal06	Soal07	Soal08	Soal09	Soal10	Soal11	Skortotal
Soal01	Pearson Correlation	1	-.219	.099	.011	-.077	-.089	.257	-.028	.209	.478 <sup>+</sup>	.261	.591 <sup>++</sup>
	Sig. (2-tailed)		.294	.637	.960	.715	.674	.215	.895	.316	.016	.207	.002
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal02	Pearson Correlation	-.219	1	-.282	-.116	-.336	.051	-.129	.157	.471 <sup>+</sup>	-.037	-.269	-.009
	Sig. (2-tailed)	.294		.172	.582	.100	.808	.538	.454	.017	.860	.193	.967
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal03	Pearson Correlation	.099	-.282	1	.474 <sup>+</sup>	-.039	-.322	-.054	.024	.329	.028	.365	.409 <sup>+</sup>
	Sig. (2-tailed)	.637	.172		.017	.852	.116	.798	.909	.108	.895	.073	.042
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal04	Pearson Correlation	.011	-.116	.474 <sup>+</sup>	1	.154	-.388	.107	-.029	.188	.311	.011	.421 <sup>+</sup>
	Sig. (2-tailed)	.960	.582	.017		.461	.056	.610	.889	.369	.131	.957	.036
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal05	Pearson Correlation	-.077	-.336	-.039	.154	1	-.380	.133	-.192	-.322	-.151	.167	.053
	Sig. (2-tailed)	.715	.100	.852	.461		.061	.525	.357	.117	.471	.425	.802
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal06	Pearson Correlation	-.089	.051	-.322	-.388	-.380	1	-.003	.012	-.186	-.024	-.197	-.074
	Sig. (2-tailed)	.674	.808	.116	.056	.061		.989	.954	.374	.910	.346	.724
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal07	Pearson Correlation	.257	-.129	-.054	.107	.133	-.003	1	-.342	.049	.128	.398 <sup>+</sup>	.526 <sup>++</sup>
	Sig. (2-tailed)	.215	.538	.798	.610	.525	.989		.095	.816	.543	.049	.007
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal08	Pearson Correlation	-.028	.157	.024	-.029	-.192	.012	-.342	1	-.074	.155	-.401 <sup>+</sup>	-.058
	Sig. (2-tailed)	.895	.454	.909	.889	.357	.954	.095		.724	.459	.047	.784
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal09	Pearson Correlation	.209	.471 <sup>+</sup>	.329	.188	-.322	-.186	.049	-.074	1	.248	-.002	.472 <sup>+</sup>
	Sig. (2-tailed)	.316	.017	.108	.369	.117	.374	.816	.724		.231	.992	.017
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal10	Pearson Correlation	.478 <sup>+</sup>	-.037	.028	.311	-.151	-.024	.128	.155	.248	1	.046	.615 <sup>++</sup>
	Sig. (2-tailed)	.016	.860	.895	.131	.471	.910	.543	.459	.231		.829	.001
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Soal11	Pearson Correlation	.261	-.269	.365	.011	.167	-.197	.398 <sup>+</sup>	-.401 <sup>+</sup>	-.002	.046	1	.484 <sup>+</sup>
	Sig. (2-tailed)	.207	.193	.073	.957	.425	.346	.049	.047	.992	.829		.014
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Skortotal	Pearson Correlation	.591 <sup>++</sup>	-.009	.409 <sup>+</sup>	.421 <sup>+</sup>	.053	-.074	.526 <sup>++</sup>	-.058	.472 <sup>+</sup>	.615 <sup>++</sup>	.484 <sup>+</sup>	1
	Sig. (2-tailed)	.002	.967	.042	.036	.802	.724	.007	.784	.017	.001	.014	
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

## Reliability

[DataSet0]

### Scale: ALL VARIABLES

#### Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	25	100.0
	Excluded <sup>a</sup>	0	.0
	Total	25	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

#### Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.617	7

## Lampiran 18 Analisis Daya Beda Butir Soal

### Item-Total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Soal01	36.92	114.827	.416	.547
Soal03	36.52	126.677	.336	.578
Soal04	35.20	134.667	.308	.588
Soal07	36.52	127.093	.272	.599
Soal09	37.04	132.540	.288	.592
Soal10	38.68	119.727	.361	.568
Soal11	37.84	120.973	.332	.579

## Lampiran 19 Analisis Tingkat Kesukaran Soal

```
FREQUENCIES VARIABLES=Soal01 Soal03 Soal04 Soal07 Soal09 Soal10 Soal11  
/STATISTICS=MAXIMUM MEAN  
/ORDER=ANALYSIS.
```

### → Frequencies

		Statistics						
		Soal01	Soal03	Soal04	Soal07	Soal09	Soal10	Soal11
N	Valid	25	25	25	25	25	25	25
	Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean		6.20	6.60	7.92	6.60	6.08	4.44	5.28
Maximum		10	10	10	10	10	10	10

Lampiran 20 Nilai *Pre-test* dan *Post-test*

N O	NAMA PESERTA DIDIK	PENILAIAN (70)		PENILAIAN (100)	
		PRE TEST	POST TEST	PRE TEST	POST TEST
1	Ahmad Muzayyin Hasan	19	48	27,1	68,6
2	Ardi Pranata	17	43	24,3	61,4
3	Aulia Cahayani	32	64	45,7	91,4
4	Adinda Calista Noviyanti	25	63	35,7	90,0
5	Chelsea Aprilia Putri	22	55	31,4	78,6
6	Deny Mugiyanto Saputra	20	47	28,6	67,1
7	Devina Yulia Putri	29	60	41,4	85,7
8	Dimas Ardiansyah	22	58	31,4	82,9
9	Dita Rahmawati	24	64	34,3	91,4
10	Farid Maulana	13	51	18,6	72,9
11	Gitalis Dwi Arifiani	30	61	42,9	87,1
12	Khiarotul Luk Lu'ah	28	61	40,0	87,1
13	Lutfi Intan Pratiwi	22	60	31,4	85,7
14	M. Faiz Maulana Mahendra	14	42	20,0	60,0

15	Moch Faqih Choirurrijal	22	59	31,4	84,3
16	Muhamad Zaqi Afnan	19	55	27,1	78,6
17	Muhammad Al Jilani	22	55	31,4	78,6
18	Muhammad Fatirul Firdhaus	23	50	32,9	71,4
19	Muhammad Ridhollah Mukti	24	52	34,3	74,3
20	Muhammad Nailun Ni'am	15	40	21,4	57,1
21	Nadia Safitri	19	51	27,1	72,9
22	Rizki Ari Saputro	14	41	20,0	58,6
23	Sholichatul Afriyah	18	55	25,7	78,6
24	Siti Wahyuni	24	57	34,3	81,4
25	Tasya Fitrotun Kamila	20	52	28,6	74,3
26	Windi Rantika	10	55	14,3	78,6
27	Wulan Septianingsih	24	55	34,3	78,6
28	Yukie Ahmad Fahrezie	19	50	27,1	71,4
29	Chairul Wafa	14	46	20,0	65,7

## Lampiran 21 Analisis Normalitas *Pre-Test* dan *Post-Test*

### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Pretest	.104	29	.200*	.978	29	.777
Posttest	.142	29	.142	.957	29	.280

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Pretest	Mean	29.748	1.4058	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	26.869	
		Upper Bound	32.628	
	5% Trimmed Mean	29.694		
	Median	31.400		
	Variance	57.308		
	Std. Deviation	7.5702		
	Minimum	14.3		
	Maximum	45.7		
	Range	31.4		
	Interquartile Range	9.3		
	Skewness	.079	.434	
	Kurtosis	-.211	.845	
Posttest	Mean	76.355	1.8316	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	72.603	
		Upper Bound	80.107	
	5% Trimmed Mean	76.563		
	Median	78.600		
	Variance	97.285		
	Std. Deviation	9.8633		
	Minimum	57.1		
	Maximum	91.4		
	Range	34.3		
	Interquartile Range	15.0		
	Skewness	-.353	.434	
	Kurtosis	-.687	.845	

## Lampiran 22 Analisis *N-Gain*

SPSS Statistics File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Extensions Window Help

Data Pre-Post.sav [DataSet1] - IBM SPSS Statistics Data Editor

	Pretest	Posttest	NGain	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF	VSF
2	24.3	61.4	.49										
3	45.7	91.4	.84										
4	35.7	90.0	.84										
5	31.4	78.6	.69										
6	28.6	67.1	.54										
7	41.4	85.7	.76										
8	31.4	82.9	.75										
9	34.3	91.4	.87										
10	18.6	72.9	.67										
11	42.9	87.1	.77										
12	40.0	87.1	.78										
13	31.4	85.7	.79										
14	20.0	60.0	.50										
15	31.4	84.3	.77										
16	27.1	78.6	.71										
17	31.4	78.6	.69										
18	32.9	71.4	.57										
19	34.3	74.3	.61										
20	21.4	57.1	.45										
21	27.1	72.9	.63										
22	20.0	58.6	.48										
23	25.7	78.6	.71										
24	34.3	81.4	.72										
25	28.6	74.3	.64										
26	14.3	78.6	.75										
27	34.3	78.6	.67										
28	27.1	71.4	.61										
29	20.0	65.7	.57										
30													

Data View Variable View

IBM SPSS Statistics Processor is ready

### Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
NGain	29	.45	.87	.6708	.11564
Valid N (listwise)	29				

## Lampiran 23 Soal (Uji Coba Soal) Peserta Didik

### Soal Materi Gelombang Bunyi Kelas XII MA NU Al Hikmah Semarang

1. Fenomena yang terjadi di alam semesta ini sangat banyak, di antaranya fenomena yang terjadi di ruang angkasa seperti tabrakan antara meteor dengan ledakan yang sangat besar. Peristiwa ini terjadi ketika seorang pengamat berada di ruang angkasa, mereka yang melihat peristiwa tersebut tidak mendengar suara ledakan dari tabrakan meteor yang dilihat. Bagaimana hal tersebut bisa terjadi? Identifikasikan dengan sifat-sifat gelombang bunyi!



2. Perhatikan hasil pengukuran cepat rambat gelombang bunyi di udara pada bagian suhu berikut.

Suhu Udara	Laju Bunyi
0°C	331 m/s
x	341 m/s
20°C	y
30°C	350 m/s

Lengkapi hasil pengukuran dan perhitungan yang rumpang! Kemudian buat kesimpulan menurut kalian!

3. Pada hari Rabu, Bu Rina menuju ke Pasar dengan mengendarai sebuah mobil. Ketika di perjalanan Bu Rina akan berpapasan dengan temannya Bu Riski dan mereka berdua saling menyapa dengan membunyikan klakson mobil. Bu Rizki membunyikan klakson terlebih dahulu sebelum disusul Bu Rina membunyikan klakson. Menurut Bu Riski, klakson dari Bu Rina lebih keras daripada Bu Riski. Bagaimanakah suara klakson yang di dengar oleh Bu Riski? Mengapa bisa demikian?

4. Pada saat perayaan tahun baru Albert dan Rama menyalakan kembang api di lapangan desa yang terletak 1 km dari rumah Bayu, peristiwa meledaknya kembang api di udara dibarengi dengan suara ledakan yang cukup keras. Saat peristiwa tersebut, menurut Albert suara ledakan yang didengar oleh Bayu lebih telat dari yang didengar oleh Albert. Sedangkan menurut Rama suara ledakan yang didengar oleh Bayu waktunya sama yang didengarkan



oleh Albert dan Rama. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Jelaskan dan hitunglah berdasarkan cepat rambat bunyi!

5. Perhatikan tabel di bawah ini!

Sumber Bunyi	Taraf Intensitas
Suara mesin truk	20 dB
Suara sirine polisi	60 dB

Sebuah mesin truk menghasilkan taraf intensitas bunyi sebesar  $TI = 20 \text{ dB} (I_0 = 10^{-12} \text{ watt. m}^2)$ . Agar menghasilkan taraf intensitas yang sama (setara) dengan suara sirine polisi maka jumlah mesin truk diperlukan sebanyak ?

6. Arya sangat hobi bermain gitar. Pada saat dimainkan, senar gitar tersebut menimbulkan nada yang berbeda-beda. Apakah yang mempengaruhi perbedaan nada pada saat dipetik tersebut ? Jelaskan!



7. Bayu dan Ita sedang berada di dalam rumah, kemudian mereka berdua mendengar suara sirine ambulans. Bayu menghampiri sumber bunyi tersebut dan berlari ke halaman rumahnya meninggalkan Ita. Menurut Bayu, saat mobil ambulans melewati rumah mereka, Bayu mendengar lebih keras suara sirine ambulans tersebut dibandingkan dengan Ita. Apakah yang menyebabkan hal tersebut bisa terjadi ?
8. Joni sedang melakukan sebuah praktikum materi gelombang bunyi dengan menggunakan senar dan diperoleh hasil percobaan sebagai berikut:

No	l (m)	M (g)
1	1	2,5
2	1	3
3	1	0,15

Berdasarkan data pada tabel tersebut, senar manakah yang menghasilkan frekuensi paling tinggi jika dipasangkan pada gitar jika diberi tegangan sebesar 25N?

9. Sebuah senar dengan panjang 100 cm yang memiliki massa 50 gram ditegangkan oleh gaya 20 N. Jika senar terbentuk 2 gelombang penuh, berapa cepat rambat gelombang bunyi dan frekuensi yang dihasilkan dawai!

10. Sebuah ambulance dengan sirine menyala yang berfrekuensi 840 Hz bergerak dengan kecepatan 72 km/jam mendekati seseorang yang sedang berdiri dipinggir jalan. Jika kecepatan suara di udara sebesar 240 m/s, hitunglah frekuensi bunyi sirine yang didengar oleh orang tersebut, apakah semakin besar atau semakin kecil frekuensi yang diterima oleh pendengar?



11. Seruling merupakan alat musik yang menggunakan prinsip pipa organa sehingga dapat mengeluarkan bunyi yang merdu. Terdapat berbagai lubang seruling yang menyebabkan nada bunyi berbeda-beda. Pada suatu saat Dono sedang bermain seruling bersama temannya yaitu Adit dan Rian. Menurut Adit berasumsi bahwa menutup lubang di dekat mulut seruling, nada yang dihasilkan akan meningkat karena panjang efektif kolom udara diperpendek, sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi dan dengan demikian nada yang lebih tinggi. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Analisislah hubungan antara pendapat Adit dan Albert!



## Lampiran 24 Penskoran dan Kunci Jawaban (Soal Uji Coba)

### PANDUAN PENSKORAN INSTRUMEN TES (UJI COBA)

Nama Sekolah : MA NU Al Hikmah Semarang  
Kelas : XII  
Mata Pelajaran : Fisika  
Materi Pokok : Gelombang Bunyi  
Instrumen Penilaian : Soal Tes Uraian

#### Soal Nomor 1

Fenomena yang terjadi di alam semesta ini sangat banyak, di antaranya fenomena yang terjadi di ruang angkasa seperti tabrakan antara meteor dengan ledakan yang sangat besar. Peristiwa ini terjadi ketika seorang pengamat berada di ruang angkasa, mereka yang melihat peristiwa tersebut tidak mendengar suara ledakan dari tabrakan meteor yang dilihat. Bagaimana hal tersebut bisa terjadi? Identifikasikan dengan sifat-sifat gelombang bunyi!



#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
1	Karena gelombang bunyi merupakan getaran mekanik dalam golongan longitudinal yang memiliki berbagai sifat. Sifat-sifat gelombang bunyi di antaranya dapat dibiaskan, dipantulkan, memiliki pelenturan, interferensi, pelayangan serta dapat dihitung cepat rambatnya sesuai medium.	5
	Karena tidak ada medium yang merambat maka, ledakan yang terjadi di luar angkasa tidak terdengar oleh pengamat.	5
Jumlah skor maksimum soal nomor 1		10

#### Soal Nomor 2

Perhatikan hasil pengukuran cepat rambat gelombang bunyi diudara pada bagian suhu berikut.

Suhu Udara	Laju Bunyi
0°C	331 m/s
x	341 m/s
20°C	y
30°C	350 m/s

Lengkapi hasil pengukuran dan perhitungan yang rumpang! Kemudian buat kesimpulan menurut kalian!

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
2	<p>Mencari x :</p> <p>Diketahui :</p> <p><math>v^0 = 331 \text{ m/s}</math></p> <p><math>v = 341 \text{ m/s}</math></p> <p>Ditanya: <math>t = \dots?</math></p> <p>Jawab: <math>v = v^0 + 0,6t</math></p> <p><math>341 = 331 + 0,6x</math></p> <p><math>10 = 0,6x</math></p> <p><math>\frac{10}{0,6} = x</math></p> <p><math>16,6667 = x</math></p> <p><math>16,7 = x</math></p> <p>Mencari y:</p> <p>Diketahui :</p> <p><math>v^0 = 331 \text{ m/s}</math></p> <p><math>t = 20^\circ\text{C}</math></p> <p>Ditanya = <math>v = \dots?</math></p> <p>Jawab: <math>v = v^0 + 0,6t</math></p> <p><math>v = 331 + 0,6 \cdot 20</math></p> <p><math>v = 331 + 12</math></p> <p><math>v = 343 \text{ m/s}</math></p> <p>Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, tabel dapat digunakan untuk menarik kesimpulan bahwa cepat rambat gelombang bunyi di udara akan semakin meningkat pada suhu tinggi. Hasil percobaan pada tabel tersebut sudah sesuai dengan konsep cepat rambat gelombang bunyi. Suhu medium, semakin panas suhu medium yang dilalui maka semakin cepat bunyi merambat.</p>	<p>3</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>1</p>
Jumlah skor maksimum soal nomor 2		10

Soal Nomor 3

Pada hari Rabu, Bu Rina menuju ke Pasar dengan mengendarai sebuah mobil. Ketika di perjalanan Bu Rina akan berpapasan dengan temannya Bu Riski dan mereka berdua saling menyapa dengan membunyikan klakson mobil. Bu Rizki membunyikan klakson terlebih dahulu sebelum disusul Bu Rina membunyikan klakson. Menurut Bu Riski, klakson dari Bu Rina lebih keras daripada Bu Riski. Bagaimanakah suara klakson yang di dengar oleh Bu Riski? Mengapa bisa demikian?

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
3	Suara klakson terdengar lebih keras.	5

Yang menyebabkan suara klakson terdengar lebih keras dikarenakan saat sumber dan pendengar itu bergerak berdekatan atau berada pada jarak yang paling dekat maka, gelombang yang sampai pada pendengar semakin rapat sehingga frekuensi yang dihasilkan semakin besar.	5
Jumlah skor maksimum soal nomor 3	10

#### Soal Nomor 4

Pada saat perayaan tahun baru Albert dan Rama menyalakan kembang api di lapangan desa yang terletak 1 km dari rumah Bayu, peristiwa meledaknya kembang api di udara dibarengi dengan suara ledakan yang cukup keras. Saat peristiwa tersebut, menurut Albert suara ledakan yang didengar oleh Bayu lebih telat dari yang didengar oleh Albert. Sedangkan menurut Rama suara ledakan yang didengar oleh Bayu waktunya sama yang didengarkan oleh Albert dan Rama. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Jelaskan dan hitunglah berdasarkan cepat rambat bunyi!



#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
4	Diketahui : Jarak (s) = 1 km = 1000 m Cepat rambat (v) = 340 m/s Ditanya = t=...? Ditanya: t =...? Jawab = $v = s/t$ $340 = 1000/t$ $t = 1000/340$ $t = 2,94$ s Kesimpulannya, Albert benar dalam mengasumsikan bahwa suara ledakan kembang api akan didengar oleh Bayu lebih telat dibandingkan dengan yang didengar olehnya sendiri. Hal ini disebabkan oleh perbedaan waktu yang diperlukan gelombang suara untuk mencapai jarak yang berbeda, sesuai dengan kecepatan perambatan gelombang suara yang jauh lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan cahaya.	4  4  2
Jumlah skor maksimum soal nomor 4		10

**Soal Nomor 5**

Perhatikan tabel di bawah ini!

Sumber Bunyi	Taraf Intensitas
Suara mesin truk	20 dB
Suara sirine polisi	60 dB

Sebuah mesin truk menghasilkan taraf intensitas bunyi sebesar  $T_1 = 20 \text{ dB}$  ( $I_0 = 10^{-12} \text{ watt.m}^2$ ). Agar menghasilkan taraf intensitas yang sama (setara) dengan suara sirine polisi maka jumlah mesin truk diperlukan sebanyak ?

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
5	Diketahui : Jarak (s) = 1 km = 1000 m Cepat rambat (v) = 340 m/s Ditanya = t=...? Ditanya: t =...?	4
	Penyelesaian : Jumlah mesin truk yang diperlukan : $T_2 = T_1 + 10 \log n$ $60 \text{ dB} = 20 \text{ dB} + 10 \log n$ $10 \log n = 40 \text{ dB}$ $\log n = 4$ $n = 10,4 = 10000$	4
	Jumlah mesin yang diperlukan agar taraf intensitasnya setara dengan suara sirine polisi adalah 10000 mesin.	2
Jumlah skor maksimum soal nomor 5		10

**Soal Nomor 6**

Arya sangat hobi bermain gitar. Pada saat dimainkan, senar gitar tersebut menimbulkan nada yang berbeda-beda. Apakah yang mempengaruhi perbedaan nada pada saat dipetik tersebut ? Jelaskan!



Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
6	Tegangan senar, massa senar, panjang senar ketegangan senar, bahan senar	5
	1. Tegangan Senar: Tegangan yang diberikan pada senar gitar mempengaruhi frekuensi getaran senar. Semakin tinggi tegangan senar, semakin tinggi frekuensi yang dihasilkan, dan ini menghasilkan nada yang lebih tinggi.	5

2. Massa Senar: Massa dari senar gitar juga mempengaruhi frekuensi getaran. Semakin besar massa senar, semakin rendah frekuensi yang dihasilkan, dan ini menghasilkan nada yang lebih rendah.	
3. Panjang Senar: Panjang senar yang aktif (yang bergetar) mempengaruhi frekuensi getaran. Panjang senar yang lebih pendek akan menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi (nada yang lebih tinggi), sedangkan panjang senar yang lebih panjang akan menghasilkan frekuensi yang lebih rendah (nada yang lebih rendah).	
4. Ketegangan Senar: Ketegangan senar (tension) adalah faktor kunci dalam menentukan frekuensi getaran. Semakin tinggi tegangan senar, semakin tinggi frekuensi getaran senar tersebut.	
5. Bahan Senar: Bahan dari senar gitar juga mempengaruhi karakteristik suara yang dihasilkan. Misalnya, senar baja biasanya menghasilkan suara yang lebih terang dan tajam dibandingkan dengan senar nilon.	
Jumlah skor maksimum soal nomor 6	10

#### Soal Nomor 7

Bayu dan Ita sedang berada di dalam rumah, kemudian mereka berdua mendengar suara sirine ambulans. Bayu menghampiri sumber bunyi tersebut dan berlari ke halaman rumahnya meninggalkan Ita. Menurut Bayu, saat mobil ambulans melewati rumah mereka, Bayu mendengar lebih keras suara sirine ambulans tersebut dibandingkan dengan Ita. Apakah yang menyebabkan hal tersebut bisa terjadi ?

#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
7	Apabila sumber bunyi dan pendengar saling bergerak relatif, frekuensi yang didengar kedua belah pihak tidak sama.	5
	Hal ini dikarenakan Bayu mendekati sumber bunyi sedangkan Ita menjauhi sumber bunyi. Frekuensi meningkat apabila sumber bunyi tersebut bergerak mendekati pengamat, begitu pula sebaliknya apabila sumber bunyi menjauhi pengamat maka frekuensi akan menurun	5
Jumlah skor maksimum soal nomor 7		10

#### Soal Nomor 8

Joni sedang melakukan sebuah praktikum materi gelombang bunyi dengan menggunakan senar dan diperoleh hasil percobaan sebagai berikut:

No	l (m)	M (g)
1	1	2,5
2	1	3

3	1	0,15
---	---	------

Berdasarkan data pada tabel tersebut, senar manakah yang menghasilkan frekuensi paling tinggi jika dipasangkan pada gitar jika diberi tegangan sebesar 25N?

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
8	<p>Diketahui :</p> $l_1 = l_2 = l_3 = 1 \text{ m}$ $M_1 = 2,5 \text{ g}$ $M_2 = 4 \text{ g}$ $M_3 = 0,20 \text{ g}$ <p>Penyelesaian:</p> $f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ <p>Kita akan mencari nilai <math>\mu</math> dari masing-masing senar terlebih dahulu sebelum mencari frekuensi.</p> $\mu = \frac{m}{l}$ $\mu_1 = 2,5$ $\mu_2 = 4$ $\mu_3 = 0,20$ <p>Maka yang diperoleh hasil:</p> $f_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{15}{2,5}}$ $f_1 = \frac{1}{2} \sqrt{6}$ $f_1 = 1,22 \text{ Hz}$ $f_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{15}{4}}$ $f_2 = \frac{1}{2} \sqrt{3,75}$ $f_2 = 0,97 \text{ Hz}$ $f_3 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{15}{0,20}}$ $f_3 = \frac{1}{2} \sqrt{75}$ $f_3 = 4,35 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi tertinggi didapat pada senar ketiga yaitu 4,35 Hz. Dapat disimpulkan semakin kecil nilai <math>\mu</math> senar, maka semakin besar frekuensi yang dihasilkan oleh senar tersebut.</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>
Jumlah skor maksimum soal nomor 8		10

**Soal Nomor 9**

Sebuah senar dengan panjang 100 cm yang memiliki massa 50 gram ditegangkan oleh gaya 20 N. Jika senar terbentuk 2 gelombang penuh, berapa cepat rambat gelombang bunyi dan frekuensi yang dihasilkan dawai!

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
9	Diketahui: $l = 1 \text{ m}$ $m = 0,05 \text{ kg}$ $F = 20 \text{ N}$ $n = 2$ Ditanya: a. cepat rambat bunyi pada dawai b. frekuensi gelombang bunyi yang dihasilkan	3 2
	Penyelesaian: a. $V = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$ $= \sqrt{\frac{20 \cdot 1}{0,05}}$ $= \sqrt{400}$ $= 20$ $l = 2\lambda$ $\lambda = 0,5 \text{ m}$ b. $V = \lambda \cdot f$ $20 = 0,5 \times f$ $f = 40 \text{ Hz}$	3 2
Jumlah skor maksimum soal nomor 9		10

**Soal Nomor 10**

Sebuah ambulans dengan sirine menyala yang berfrekuensi 840 Hz bergerak dengan kecepatan 72 km/jam mendekati seseorang yang sedang berdiri dipinggir jalan. Jika kecepatan suara di udara sebesar 240 m/s, hitunglah frekuensi bunyi sirine yang didengar oleh orang tersebut, apakah semakin besar atau semakin kecil frekuensi yang diterima oleh pendengar?



Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
10	Diketahui : $V_p = 0 \text{ km/jam} = 0 \text{ m/s}$ $V_s = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$ $f_s = 840 \text{ Hz}$ $v = 240 \text{ m/s}$ ditanya: $f_p$ ? Penyelesaian:	3
	$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \times f_s$ $f_p = \frac{240 + 20}{240 + 0} \times 840$ $f_p = 910 \text{ Hz}$	5
	Kesimpulannya frekuensi yang diterima oleh pendengar semakin besar karena sumber bunyi mendekati pendengar	2
Jumlah skor maksimum soal nomor 10		10

Soal Nomor 11

Seruling merupakan alat musik yang menggunakan prinsip pipa organa sehingga dapat mengeluarkan bunyi yang merdu. Terdapat berbagai lubang seruling yang menyebabkan nada bunyi berbeda-beda. Pada suatu saat Dono sedang bermain seruling bersama temannya yaitu Adit dan Rian. Menurut Adit berasumsi bahwa menutup lubang di dekat mulut seruling, nada yang dihasilkan akan meningkat karena panjang efektif kolom udara diperpendek, sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi dan dengan demikian nada yang lebih tinggi. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Analisislah hubungan antara pendapat Adit dan Albert!



Menurut Adit berasumsi bahwa menutup lubang di dekat mulut seruling, nada yang dihasilkan akan meningkat karena panjang efektif kolom udara diperpendek, sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi dan dengan demikian nada yang lebih tinggi. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Analisislah hubungan antara pendapat Adit dan Albert!

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
11	Asumsi Adit benar:	4
	Saat seseorang memainkan seruling, nada nada yang dihasilkan ditentukan oleh frekuensi gelombang suara yang tercipta di dalam seruling tersebut.	6

	Menutup lubang di dekat mulut seruling justru akan meningkatkan nada nada yang dihasilkan.	
Jumlah skor maksimum soal nomor 11		10

## Lampiran 25 Soal *Pre-Test* dan *Post-Test*

### Soal Materi Gelombang Bunyi Kelas XI.2 MA NU Al Hikmah Semarang

1. Fenomena yang terjadi di alam semesta ini sangat banyak, di antaranya fenomena yang terjadi di ruang angkasa seperti tabrakan antara meteor dengan ledakan yang sangat besar. Peristiwa ini terjadi ketika seorang pengamat berada di ruang angkasa, mereka yang melihat peristiwa tersebut tidak mendengar suara ledakan dari tabrakan meteor yang dilihat. Bagaimana hal tersebut bisa terjadi? Identifikasikan dengan sifat-sifat gelombang bunyi!  

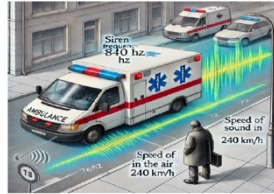
2. Pada hari Rabu, Bu Rina menuju ke Pasar dengan mengendarai sebuah mobil. Ketika di perjalanan Bu Rina akan berpapasan dengan temannya Bu Riski dan mereka berdua saling menyapa dengan membunyikan klakson mobil. Bu Rizki membunyikan klakson terlebih dahulu sebelum disusul Bu Rina membunyikan klakson. Menurut Bu Riski, klakson dari Bu Rina lebih keras daripada Bu Riski. Bagaimanakah suara klakson yang di dengar oleh Bu Riski? Mengapa bisa demikian?
3. Pada saat perayaan tahun baru Albert dan Rama menyalakan kembang api di lapangan desa yang terletak 1 km dari rumah Bayu, peristiwa meledaknya kembang api di udara dibarengi dengan suara ledakan yang cukup keras. Saat peristiwa tersebut, menurut Albert suara ledakan yang didengar oleh Bayu lebih telat dari yang didengar oleh Albert. Sedangkan menurut Rama suara ledakan yang didengar oleh Bayu waktunya sama yang didengarkan oleh Albert dan Rama. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Jelaskan dan hitunglah berdasarkan cepat rambat bunyi!  

4. Bayu dan Ita sedang berada di dalam rumah, kemudian mereka berdua mendengar suara sirine ambulans. Bayu menghampiri sumber bunyi tersebut dan berlari ke halaman rumahnya meninggalkan Ita. Menurut Bayu, saat mobil ambulans melewati

rumah mereka, Bayu mendengar lebih keras suara sirine ambulans tersebut dibandingkan dengan Ita. Apakah yang menyebabkan hal tersebut bisa terjadi ?

5. Sebuah senar dengan panjang 100 cm yang memiliki massa 50 gram ditegangkan oleh gaya 20 N. Jika senar terbentuk 2 gelombang penuh, berapa cepat rambat gelombang bunyi dan frekuensi yang dihasilkan dawai?

6. Sebuah ambulans dengan sirine menyala yang berfrekuensi 840 Hz bergerak dengan kecepatan 72 km/jam mendekati seseorang yang sedang berdiri di pinggir jalan. Jika kecepatan suara di udara sebesar 240 m/s, hitunglah frekuensi bunyi sirine yang didengar oleh orang tersebut, apakah semakin besar atau semakin kecil frekuensi yang diterima oleh pendengar?



7. Seruling merupakan alat musik yang menggunakan prinsip pipa organa sehingga dapat mengeluarkan bunyi yang merdu. Terdapat berbagai lubang seruling yang menyebabkan nada bunyi berbeda-beda. Pada suatu saat Dono sedang bermain seruling bersama temannya yaitu Adit dan Rian. Menurut Adit berasumsi bahwa menutup lubang di dekat mulut seruling, nada yang dihasilkan akan meningkat karena panjang efektif kolom udara diperpendek, sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi dan dengan demikian nada yang lebih tinggi. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Analisislah hubungan antara pendapat Adit dan Albert!



## Lampiran 26 Penskoran dan Kunci Jawaban *Pre-Test* dan *Post-Test*

### PANDUAN PENSKORAN INSTRUMEN TES (Pre-Test dan Post-Test)

Nama Sekolah : MA NU Al Hikmah Semarang

Kelas : XI.2

Mata Pelajaran : Fisika

Materi Pokok : Gelombang Bunyi

Instrumen Penilaian : Soal Tes Uraian

#### Soal Nomor 1

Fenomena yang terjadi di alam semesta ini sangat banyak, di antaranya fenomena yang terjadi di ruang angkasa seperti tabrakan antara meteor dengan ledakan yang sangat besar. Peristiwa ini terjadi ketika seorang pengamat berada di ruang angkasa, mereka yang melihat peristiwa tersebut tidak mendengar suara ledakan dari tabrakan meteor yang dilihat. Bagaimana hal tersebut bisa terjadi? Identifikasikan dengan sifat-sifat gelombang bunyi!



#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
1	Karena gelombang bunyi merupakan getaran mekanik dalam golongan longitudinal yang memiliki berbagai sifat. Sifat-sifat gelombang bunyi di antaranya dapat dibiaskan, dipantulkan, memiliki pelenturan, interferensi, pelayangan serta dapat dihitung cepat rambatnya sesuai medium.	5
	Karena tidak ada medium yang merambat maka, ledakan yang terjadi di luar angkasa tidak terdengar oleh pengamat.	5
Jumlah skor maksimum soal nomor 1		10

#### Soal Nomor 2

Pada hari Rabu, Bu Rina menuju ke Pasar dengan mengendarai sebuah mobil. Ketika di perjalanan Bu Rina akan berpapasan dengan temannya Bu Riski dan mereka berdua saling menyapa dengan membunyikan klakson mobil. Bu Rizki membunyikan klakson terlebih dahulu sebelum disusul Bu Rina membunyikan klakson. Menurut Bu Riski, klakson dari Bu Rina lebih keras daripada Bu Riski. Bagaimanakah suara klakson yang di dengar oleh Bu Riski? Mengapa bisa demikian?

#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
2	Suara klakson terdengar lebih keras. Yang menyebabkan suara klakson terdengar lebih keras dikarenakan saat sumber dan pendengar itu bergerak berdekatan atau berada pada jarak yang paling dekat maka, gelombang yang sampai pada pendengar semakin rapat sehingga frekuensi yang dihasilkan semakin besar.	5 5
Jumlah skor maksimum soal nomor 2		10

### Soal Nomor 3

Pada saat perayaan tahun baru Albert dan Rama menyalakan kembang api di lapangan desa yang terletak 1 km dari rumah Bayu, peristiwa meledaknya kembang api di udara dibarengi dengan suara ledakan yang cukup keras. Saat peristiwa tersebut, menurut Albert suara



ledakan yang didengar oleh Bayu lebih telat dari yang didengar oleh Albert. Sedangkan menurut Rama suara ledakan yang didengar oleh Bayu waktunya sama yang didengarkan oleh Albert dan Rama. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Jelaskan dan hitunglah berdasarkan cepat rambat bunyi!

#### Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
3	Diketahui : Jarak ( $s$ ) = 1 km = 1000 m Cepat rambat ( $v$ ) = 340 m/s Ditanya = $t = \dots?$ Ditanya: $t = \dots?$ Jawab = $v = s/t$ $340 = 1000/t$ $t = 1000/340$ $t = 2,94$ s	4 4
	Kesimpulannya, Albert benar dalam mengasumsikan bahwa suara ledakan kembang api akan didengar oleh Bayu lebih telat dibandingkan dengan yang didengar olehnya sendiri. Hal ini disebabkan oleh perbedaan waktu yang diperlukan gelombang suara untuk mencapai jarak yang berbeda, sesuai dengan kecepatan perambatan gelombang suara yang jauh lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan cahaya.	2
Jumlah skor maksimum soal nomor 3		10

Soal Nomor 4

Bayu dan Ita sedang berada di dalam rumah, kemudian mereka berdua mendengar suara sirine ambulans. Bayu menghampiri sumber bunyi tersebut dan berlari ke halaman rumahnya meninggalkan Ita. Menurut Bayu, saat mobil ambulans melewati rumah mereka, Bayu mendengar lebih keras suara sirine ambulans tersebut dibandingkan dengan Ita. Apakah yang menyebabkan hal tersebut bisa terjadi ?

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
4	Apabila sumber bunyi dan pendengar saling bergerak relatif, frekuensi yang didengar kedua belah pihak tidak sama.	5
	Hal ini dikarenakan Bayu mendekati sumber bunyi sedangkan Ita menjauhi sumber bunyi. Frekuensi meningkat apabila sumber bunyi tersebut bergerak mendekati pengamat, begitu pula sebaliknya apabila sumber bunyi menjauhi pengamat maka frekuensi akan menurun	5
Jumlah skor maksimum soal nomor 4		10

Soal Nomor 5

Sebuah senar dengan panjang 100 cm yang memiliki massa 50 gram ditegangkan oleh gaya 20 N. Jika senar terbentuk 2 gelombang penuh, berapa cepat rambat gelombang bunyi dan frekuensi yang dihasilkan dawai!

Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
5	Diketahui: $l = 1 \text{ m}$ $m = 0,05 \text{ kg}$ $F = 20 \text{ N}$ $n = 2$ Ditanya:	3
	a. cepat rambat bunyi pada dawai b. frekuensi gelombang bunyi yang dihasilkan	
	Penyelesaian: a. $v = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$ $= \sqrt{\frac{20 \cdot 1}{0,05}}$ $= \sqrt{400}$ $= 20$ $f = 2 \lambda$	3



Soal Nomor 7

Seruling merupakan alat musik yang menggunakan prinsip pipa organa sehingga dapat mengeluarkan bunyi yang merdu. Terdapat berbagai lubang seruling yang menyebabkan nada bunyi berbeda-beda. Pada suatu saat Dono sedang bermain seruling bersama temannya yaitu Adit dan Rian. Menurut Adit berasumsi bahwa menutup lubang di dekat mulut seruling, nada yang dihasilkan akan meningkat karena panjang efektif kolom udara diperpendek, sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi dan dengan demikian nada yang lebih tinggi. Benarkah apa yang di asumsikan oleh Albert? Analisislah hubungan antara pendapat Adit dan Albert!



Rubrik Penilaian

No	Kunci Jawaban	Skor
7	Asumsi Adit benar.	4
	Saat seseorang memainkan seruling, nada nada yang dihasilkan ditentukan oleh frekuensi gelombang suara yang tercipta di dalam seruling tersebut. Menutup lubang di dekat mulut seruling justru akan meningkatkan nada nada yang dihasilkan.	6
Jumlah skor maksimum soal nomor 7		10

Lampiran 27 Lembar Jawaban *Pre-Test* Peserta Didik

LEMBAR JAWABAN

SKOR

24

Nama : Dita Rahmawati  
Kelas : XI-2  
Absen : 9

1.) Karena tidak ada medium yang merambat maka ledakan yang terjadi di luar angkasa tidak terdengar 5

2.) Lebih keras suara klakson, karena klakson Bu Rina mendekati Bu Rizki 10

3.) 5

4.) Bayu terdengar lebih keras karena Bayu mendekati sumber bunyi 5

5.) 5

6.) Lebih keras suaranya intinya pak

7.) Pendapat Adit benar 4

Lampiran 28 Lembar Jawaban *Post-Test* Peserta Didik

LEMBAR JAWABAN

SKOR

64

Nama : Aulia Cahayani  
 Kelas : XI-2  
 Absen : 3

- ① Karena tidak ada medium yang merambat maka ledakan yang terjadi di luar angkasa tidak terdengar. Sifat-sifat gelombang bunyi diantaranya dapat dibelokkan, dipantulkan, memiliki pelenturan, interferensi, pelayangan serta dapat dihitung cepat rambatnya sesuai medium.
- ② Suara klakson terdengar lebih keras, karena saat sumber dan pendengar itu bergerak berdekatan atau berada pada jarak yang paling dekat. Sehingga, gelombang yang sampai pada pendengar semakin rapat sehingga frekuensi yang didengar semakin besar.

③ Diket :

$$s = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$\text{Ditanya} = t?$$

Penyelesaian :

$$s = v \times t$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{1000}{340}$$

$$t = 2,94 \text{ s}$$

- ④ Karena bunyi mendekati sumber bunyi sedangkan kita jauh dari sumber bunyi frekuensi meningkat apabila sumber bunyi tersebut bergerak mendekati pengamat, begitu pula sebaliknya apabila sumber bunyi dan pendengar saling bergerak relatif, frekuensi yang didengar kedua belah pihak tidak sama.

⑤ Diket

$$l = 1 \text{ m}$$

$$m = 0,05 \text{ kg}$$

$$f = 20 \text{ Hz}$$

$$n = 2$$

$$\text{Ditanya} = v?$$

Penyelesaian :

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{20 \cdot 1}{0,05}}$$

$$v = \sqrt{400}$$

$$v = 20$$

6) Diket :

$$v_p = 0 \text{ km/jam} = 0 \text{ m/s}$$

$$v_s = 70 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s} \quad 3$$

$$f_s = 840 \text{ Hz}$$

$$v = 240 \text{ m/s}$$

Ditanya :  $f_p$ ?

Penyelesaian :

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \times f_s$$

$$f_p = \frac{240 + 20}{240 + 0} \times 840 \quad 5$$

$$f_p = 910 \text{ Hz}$$

7) Asumsi Adit benar karena menutup lubang di dekat mulut sehingga justm akan meningkatkan nada-nada yang dihasilkan. 10

Lampiran 29 Data Kelas XII MA NU Al Hikmah Semarang  
(Peserta Uji Coba Soal)

<b>NO</b>	<b>NAMA PESERTA</b>	<b>SIMBOL</b>
1	Ahmad Alfinur Rozaki A.	R1
2	Asna Mustafiana	R2
3	Chika Olivia	R3
4	Dinda Nur Azizah	R4
5	Dwi Okta Fitrianingrum	R5
6	Fery Faisal Setiawan	R6
7	Fiki Eko Saputro	R7
8	Fuji Astutik	R8
9	Khafidotul Nur Afifah	R9
10	Marfin Rizki Saputra	R10
11	Margareta Anggi Pertiwi	R11
12	Marisqa Aliyah Maulidya	R12
13	Muhamad Abas Anwar	R13
14	Muhamad Bayu Ibrahim	R14
15	Muhamad Munif Ardiyanto	R15
16	Muhammad Cholis Fata	R16
17	Muhammad Khoerul Rizki	R17
18	Nadia Lailatul Hasanah	R18
19	Nafairuz Jein Maharani	R19
20	Nafil Zaidan Petta Solong	R20
21	Nurrokhmawati	R21
22	Reni Ayu Lufitasari	R22
23	Rifqi Naufaliansyah	R23
24	Savira Rizki Nur Amalia	R24
25	Siti Mutma'inah	R25
26	Wahyu Arif Hidayat	R26
27	Zaida Na'maus Sholehah	R27
28	Zidane Putra Christiyanto	R28

Lampiran 30 Data Kelas XI.2 MA NU Al Hikmah Semarang  
(Peserta Penelitian)

NO	NAMA PESERTA DIDIK
1	Ahmad Muzayyin Hasan
2	Ardi Pranata
3	Aulia Cahayani
4	Adinda Calista Noviyanti
5	Chelsea Aprilia Putri
6	Deny Mugiyanto Saputra
7	Devina Yulia Putri
8	Dimas Ardiansyah
9	Dita Rahmawati
10	Farid Maulana
11	Gitalis Dwi Arifiani
12	Khiarotul Luk Lu'ah
13	Lutfi Intan Pratiwi
14	M. Faiz Maulana Mahendra
15	Moch Faqih Choirurrijal
16	Muhamad Zaqi Afnan
17	Muhammad Al Jilani
18	Muhammad Fatirul Firdhaus
19	Muhammad Ridhollah Mukti
20	Muhammad Nailun Ni'am
21	Nadia Safitri
22	Rizki Ari Saputro
23	Sholichatul Afriyah
24	Siti Wahyuni
25	Tasya Fitrotun Kamila
26	Windi Rantika
27	Wulan Septianingsih
28	Yukie Ahmad Fahrezie
29	Chairul Wafa

## Lampiran 31 Nilai PTS Peserta didik kelas XI.2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
5	<b>Mata Pelajaran : Fisika</b>			KKM : 75						
6										
7	<b>NO</b>	<b>NIS</b>	<b>NAMA SISWA</b>	<b>NILAI</b>	<b>PRAKTIK</b>	<b>SIKAP</b>				
8	1	230891	Ahmad Muzzayin Hasan	75	75	B				
9	2	230871	Ardi Pranata Putra	75	75	B				
10	3	230842	Aulia Cahayani	82	88	A				
11	4	230855	Adinda Calista Noviyanti	75	80	B				
12	5	230888	Chelsea Aprilia Putri	75	80	B				
13	6	230878	Deny Mugiyanto Saputra	75	75	B				
14	7	230839	Devina Yulia Putri	75	77	B				
15	8	230865	Dimas Ardiansyah	75	75	B				
16	9	230875	Dita Rahmawati	82	88	A				
17	10	230852	Farid Maulana	75	75	B				
18	11	230845	Gitalis Dwi Arifiani	75	80	B				
19	12	230840	Khiarotul Luk Lu'ah	75	80	B				
20	13	230886	Lutfi Intan Pratiwi	75	77	B				
21	14	230872	M. Faiz Maulana Mahendra	75	75	B				
22	15	230844	Moch Faqih Choirurrijal	79	77	B				
23	16	230884	Muhamad Zaqi Afnan	78	77	B				
24	17	230903	Muhammad Al Jilani	75	79	B				
25	18	230854	Muhammad Fatirul Firdhaus	75	76	B				
26	19	230876	Muhammad Ridhollah Mukti	75	75	B				
27	20	230869	Mukhammad Nailun N'iam	79	75	B				
28	21	230853	Nadia Safitri	79	80	A				
29	22	230885	Rizki Ari Saputro	75	75	B				
30	23	230893	Sholichatul Afriyah	82	79	B				
31	24	230860	Siti Wahyuni	75	76	B				
32	25	230862	Tasya Fitrotun Kamila	75	75	B				
33	26	230851	Windi Rantika	75	75	B				
34	27	230866	Wulan Septianingsih	75	75	B				
35	28	230848	Yukie Ahmad Fahrezie	75	75	B				
36	29	240906	Choirul Wafa	75	75	B				

## Lampiran 32 Dokumentasi Foto

### Dokumentasi Uji Coba



## Dokumentasi Hari Pertama



## Dokumentasi Hari Kedua



## Lampiran 33 Surat Keterangan Penelitian



### LEMBAGA PENDIDIKAN MA'ARIF NU **MA NU AL HIKMAH SEMARANG** TERAKREDITASI B

NSM / NIS : 131233740002 / 310160 NPSN : 20363044  
JL. KYAI AJI POLAMAN MIJEN KOTA SEMARANG 50217 JAWA TENGAH  
Phone (024) 76671674 E-mail : manualhikmahsmg@gmail.com

### SURAT KETERANGAN

Nomor : 032/MA.NU.AH/Ket/XI/2024

Kepala Madrasah Aliyah NU Al Hikmah Semarang menerangkan dengan sesungguhnya bahwa :

Nama : Karyadi, S.Pd.I., S.Pd., M.Pd  
Jabatan : Kepala Madrasah  
Madrasah : MA NU AL HIKMAH  
Alamat : Jl. Kyai Aji Polaman Mijen Semarang

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : Muhammad Arifin Ilham  
NIM : 2008066044  
Prodi : Pendidikan Fisika  
Universitas : UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

Adalah benar telah melakukan penelitian dalam rangka penulisan Skripsi yang berjudul :

**"Pengembangan Bahan Ajar Berbantuan Augmented Reality Dengan Model Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik"** sejak tanggal 13 s/d 20 November 2024 dan telah membahas materi hasil penelitiannya dengan kami.

Demikian surat keterangan ini dibuat, agar dipergunakan sebagaimana mestinya dan bagi yang berkepentingan harap menjadi periksa.

Semarang, 21 November 2024  
Kepala Madrasah,  
  
Karyadi, S.Pd.I., S.Pd., M.Pd



## Lampiran 34 Hasil Turnitin

Salinan After Revisi\_Muhammad Arifin Ilham\_Skripsi.docx

ORIGINALITY REPORT

<b>25%</b>	<b>26%</b>	<b>12%</b>	<b>12%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>eprints.walisongo.ac.id</b> Internet Source	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>repository.radenintan.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>digilib.iain-palangkaraya.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>eprints.uny.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>lib.unnes.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repository.upi.edu</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>text-id.123dok.com</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>jurnal.fkip.uns.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>etheses.uin-malang.ac.id</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>10</b>	<b>Submitted to Universitas Negeri Jakarta</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Identitas Diri

Nama : Muhammad Arifin Ilham  
Tempat, Tanggal Lahir : Kudus, 28 Mei 2003  
Alamat Rumah : Banget, Kaliwungu, Kudus  
No. HP : 087771194028  
Email : ilhammuhammadarifin13@gmail.com

### B. Riwayat Pendidikan Formal

- MI NU Nurul Huda Banget
- SMP N 2 Kaliwungu
- MA NU TBS Kudus

### C. Pengalaman Organisasi

- Wakil Ketua HMJ Fisika (2022)
- Wakil Koordinator Biro Keislaman PMII Rayon Sains dan Teknologi (2022)
- Anggota DPW PMD Saintek (2021)
- Pengurus LPM Frekuensi (2022-2023)
- Pengurus KMKS (Keluarga Mahasiswa Kudus Semarang) (2021)
- Pengurus TPQ Asy Syukur (Sekarang)