

**Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK
Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang
Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi
Ilmiah Siswa Kelas XI SMA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat guna memperoleh
gelar sarjana Pendidikan dalam ilmu Pendidikan fisika



Disusun oleh :
Miftahida Pratama Mareta
NIM : 2108066045

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftahida Pratama Mareta

NIM : 2108066045

Jurusan : Pendidikan Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA

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

Semarang,

Pembuat Pernyataan



Miftahida Pratama Mareta

NIM. 2108066045



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini:

Judul : Pengembangan E-modul Fisika Berbasis TPACK
Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang
Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi
Ilmiah Siswa Kelas XI SMA

Penulis : Miftahida Pratama Maretia

NIM : 2108066045

Jurusan : Pendidikan Fisika

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

Semarang, 30 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Dr. Susilawati, M.Pd

NIP. 198605122019032010

Penguji III,

Dr. Joko Budi Poernomo, M.Pd

NIP. 197602142008011011

Pembimbing I,

Dr. Susilawati, M.Pd

NIP. 198605122019032010

Penguji II,

Drs. H. Jasuri, M.Si

NIP. 196710141994031005

Penguji IV



Rina Susi Cahyawati, M.Pd.

NIP. 198705072020122003

Pembimbing II,

Dr. Andi Fadillah, S.Si, M.Sc.

NIP. 198009152005011006

NOTA DINAS

Semarang,

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

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

Judul : Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK
Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi
Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan
Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI
SMA

Nama : Miftahida Pratama Maretta

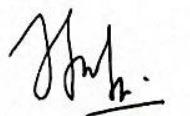
NIM : 2108066045

Jurusan : Pendidikan Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
untuk diajukan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing I



Dr. Susilawati, M.Pd.
NIP. 198605122019032010

NOTA DINAS

Semarang,

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

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

Judul : Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK
Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi
Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan
Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI
SMA

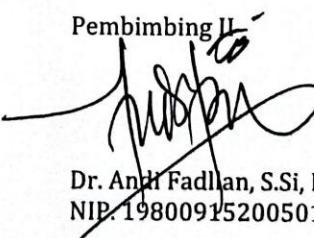
Nama : Miftahida Pratama Maretta

NIM : 2108066045

Jurusan : Pendidikan Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
untuk diajukan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing II

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

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada materi gelombang bunyi yang layak dan efektif untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah peserta didik. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE, mencakup tahap *analysis, design, development, implementation, and evaluation*. Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI MIPA SMA Negeri 1 Jogorogo, dengan sampel terdiri dari kelas XI MIPA 1 sebagai kelas eksperimen dan XI MIPA 2 sebagai kelas kontrol. Kelas eksperimen menggunakan emodul, sedangkan kelas kontrol mengikuti pembelajaran buku teks. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, soal *pretest* dan *posttest*, serta angket respon peserta didik. Teknik analisis data mencakup analisis deskriptif persentase, uji Independent Sample T-test, dan N-Gain. Hasil validasi menunjukkan e-modul sangat layak dengan rata-rata persentase 96,33%. Uji efektivitas menghasilkan nilai signifikansi $<0,001$, dengan rata-rata *posttest* kelas eksperimen sebesar 89,17 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol 51,36. N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,78 (kategori tinggi), dan kelas kontrol 0,69 (kategori sedang). Angket menunjukkan respon positif sebesar 83,47%. E-modul dinyatakan layak, efektif, dan mendapat respon positif pada materi gelombang bunyi.

Kata kunci: E-Modul Fisika, TPACK, Gelombang Bunyi, Keterampilan Komunikasi ilmiah, Heyzine Flipbook Maker

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, karunia, serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA”. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Walisongo Semarang. Sholawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Saw., teladan sepanjang masa, yang telah membimbing umat manusia dari kegelapan menuju cahaya ilmu dan iman.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari berbagai tantangan dan hambatan, baik dari segi teknis maupun non-teknis. Berkat pertolongan Allah Swt. serta dukungan dari berbagai pihak, skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan doa, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan skripsi ini. Secara khusus, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Nizar, M.Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Edi Daenuri Anwar, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
4. Dr. Susilawati, M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
5. Dr. Susilawati, M.Pd. dan Dr. Andi Fadllan, S. Si, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi dalam setiap tahap penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan yang diberikan dibalas dengan limpahan rahmat dan keberkahan oleh Allah Swt.
6. Dr. Susilawati, M.Pd., selaku dosen wali yang senantiasa memberikan motivasi dan dukungan selama proses studi.

7. Segenap dosen, staf, dan seluruh civitas akademika Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya para dosen Program Studi Pendidikan Fisika UIN Walisongo Semarang.
8. Kepala SMA Negeri 1 Jogorogo beserta guru pengampu mata pelajaran Fisika, Suci Kurnia Febriani S.Pd., yang telah memberikan izin tempat serta pendampingan yang sangat berarti dalam kelancaran proses penelitian ini.
9. Bapak Sawito dan Ibu Lusti Harti cinta pertama dan surgaku, yang tidak pernah lelah menjadi sandaran semangat dan sumber kekuatan dalam setiap langkah. Doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tak terukur, serta bantuan moral dan materi yang tak ternilai adalah Cahaya yang selalu menerangi jalan penulis hingga titik ini. Semoga Allah Swt. membalas dengan keberkahan dan kesehatan yang tak terputus.
10. Kedua saudariku tercinta, Amanda Dwi Novebriani dan Adinda Tria Novebriani, yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, dan kehangatan keluarga dalam setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih atas kebersamaan dan perhatian yang menjadi pelengkap dalam proses penyelesaian skripsi ini.
11. Bestie seperjuangan dan seperantauan: Mira, Arna, Bila, Intan, Titik, dan Auzi. Terima kasih telah menjadi teman

yang selalu kuat bersama hingga titik sarjana. Terima kasih juga karena telah menjadi bagian dari lukisan kisah kerasnya hidup di tanah rantau. See you on top, gaes!

12. Keluarga besar Asrama Muslimat NU 2 yang senantiasa setia membersamai penulis dalam suka dan duka sejak awal perkuliahan hingga terselesaiannya skripsi ini. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan kehangatan yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini. Sosok penulis yang ada hari ini tidak lepas dari peran dan kehadiran kalian semua.
13. Seluruh rekan kelas Pendidikan Fisika B angkatan 2021, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis dengan segala warna-warni kebersamaan yang penuh makna.
14. Seluruh pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini namun tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah Swt.
15. Untuk diriku sendiri, terima kasih telah bertahan saat ingin menyerah, tetap melangkah meski lelah, dan percaya meski ragu. Terima kasih telah tumbuh dalam senyap, berjuang dalam diam, dan tetap memilih untuk menyelesaikan, bukan meninggalkan. Perjalanan ini bukan

tentang menjadi sempurna, tapi tentang tidak berhenti. Hari ini, kamu layak bangga, karena kamu telah sampai. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik dalam pengembangan ilmu pengetahuan maupun sebagai referensi di bidang pendidikan fisika, khususnya dalam pengembangan e-modul fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine* pada materi gelombang bunyi untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa.

Semarang,
Penulis

Miftahida Pratama Mareta
NIM 2108066045

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	i
NOTA DINAS	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah	8
C. Pembatasan Masalah.....	8
D. Rumusan Masalah.....	10
E. Tujuan Pengembangan.....	10
F. Manfaat Pengembangan	11
G. Asumsi Pengembangan	13
H. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan.....	14
BAB II KAJIAN PUSTAKA	15
A. Kajian Teori.....	15
B. Kajian Penelitian yang Relavan.....	45
C. Kerangka Berpikir	49
BAB III METODE PENELITIAN.....	52
A. Model Pengembangan	52
B. Prosedur Pengembangan	52
C. Desain Uji Coba Produk.....	59
D. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data.....	62
E. Teknik Analisis Data.....	64
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	74
A. Hasil Pengembangan Produk Awal	74
B. Hasil Uji coba Produk.....	93
C. Analisis Data Persepsi Peserta Didik.....	111

D. Pembahasan.....	112
E. Keterbatasan Penelitian.....	123
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	125
A. Simpulan tentang Produk	125
B. Saran	126
DAFTAR PUSTAKA.....	128

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah	16
Tabel 2. 2 Laju rambat bunyi pada suhu $20^{\circ}C$	41
Tabel 3. 1 Tahap pengembangan	57
Tabel 3. 2 Teknik Pengumpulan Data	65
Tabel 3. 3 Kriteria Validitas Instrumen.....	67
Tabel 3. 4 Kriteria Reliabilitas Model Rasch	69
Tabel 3. 5 Krteria Nilai Cronbach Alpha	69
Tabel 3. 6 Kriteria Tingkat Kesukaran Soal	70
Tabel 3. 7 Kriteria Kelayakan Media	72
Tabel 3. 8 Kriteria Interpretasi Skor Gain	75
Tabel 4. 1 hasil kritik dan saran	89
Tabel 4. 2 Rekap jadwal penelitian	92
Tabel 4. 3 Rincian hasil validasi dari kedua validator	97
Tabel 4. 4 Hasil uji validitas	100
Tabel 4. 5 Hasil Uji Reliabilitas Model Rasch (Winsteps)	101
Tabel 4. 6 Rekapitulasi hasil analisis	104
Tabel 4. 7 kesukaran soal berdasarkan	106
Tabel 4. 8 Hasil Uji normalitas	107
Tabel 4. 9 Hasil Uji Homogenitas Varians (Levene's Test) .	108
Tabel 4. 10 Hasil analisis uji-t pretest dan posttest	110
Tabel 4. 11 rata-rata skor dan persentase	112
Tabel 4. 12 Rincian hasil analisis data persepsi	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tampilan Aplikasi <i>Heyzine Flipbook Maker</i>	28
Gambar 2. 2 Kerangka TPACK dan Komponen Pengetahuan	30
Gambar 2. 3 Efek Doppler.....	44
Gambar 2. 1 Tampilan Aplikasi Heyzine Flipbook Maker	29
Gambar 2. 2 Kerangka TPACK	30
Gambar 2. 3 Efek Doppler	45
Gambar 2. 4 Bagan kerangka berpikir	52
Gambar 3. 1 Prosedur pengembangan produk	60
Gambar 4. 1 Cover e-modul	80
Gambar 4. 2 Kata pengantar dan deskripsi	81
Gambar 4. 3 Daftar isi	81
Gambar 4. 4 Peta konsep.....	82
Gambar 4. 5 Tujuan pembelajaran	83
Gambar 4. 6 capaian dan Indikator Pembelajaran	85
Gambar 4. 7 gambar e-modul sebelum setelah revisi	90
Gambar 4. 8 gambar e-modul sebelum setelah revisi	91
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Validasi E-Modul	117
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan N-Gain	118
Gambar 4.11 Grafik Persepsi Siswa	121

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Lembar wawancara	129
Lampiran 2	Lembar observasi	131
Lampiran 3	Rubrik penilaian bahan ajar	133
Lampiran 4	Lembar validasi bahan ajar	146
Lampiran 5	Hasil penilaian angket validasi ahli 1	157
Lampiran 6	Hasil penilaian angket validasi ahli 2	163
Lampiran 7	Rekapitulasi hasil angket validasi ahli	169
Lampiran 8	Rubrik penilaian instrumen tes	171
Lampiran 9	Rubrik penskoran KKI	173
Lampiran 10	Soal berdasarkan indikator KKI	178
Lampiran 11	Kisi-kisi soal posttest - pretest	191
Lampiran 12	Kunci jawaban soal	198
Lampiran 13	Kartu soal instrumen	204
Lampiran 14	Lembar soal	221
Lampiran 15	Angket respons siswa	226
Lampiran 16	Hasill angket respons siswa	228
Lampiran 17	Rekapitulasi hasil angket respons	230
Lampiran 18	Rekapitulasi hasil nilai uji coba	232

Lampiran 19	Lembar jawab uji coba siswa	233
Lampiran 20	Hasil uji validitas	237
Lampiran 21	Hasil uji reliabilitas	238
Lampiran 22	Hasil uji daya beda	239
Lampiran 23	Hasil uji tingkat kesukaran	240
Lampiran 24	Lembar jawab soal pretest posttest kelas kontrol	241
Lampiran 25	Lembar jawab soal pretest posttest kelas eksperimen	242
Lampiran 26	Rekapitulasi hasil nilai pretest & posttest	243
Lampiran 27	Hasil uji normalitas	245
Lampiran 28	Hasil uji homogenitas	245
Lampiran 29	Hasil uji t-sampel	244
Lampiran 30	Hasil uji N-Gain eksperimen	245
Lampiran 31	Hasil uji N-Gain kontrol	245
Lampiran 32	Surat penunjukkan pembimbing	246
Lampiran 33	Surat permohonan validator	247
Lampiran 34	Surat Pra-Riset	248
Lampiran 35	Surat izin riset	249
Lampiran 36	Surat keterangan setelah riset	250
Lampiran 37	Tampilan e-modul	251
Lampiran 38	Dokumentasi	257

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi telah mengubah banyak aspek dalam pendidikan. Inovasi digital kini menjadi peluang besar untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, khususnya pendidikan dalam ilmu sains (Rini et al., 2023). Pembelajaran abad ke-21 menekankan pada pengembangan keterampilan penting seperti komunikasi, kolaborasi, berpikir kritis, dan kreativitas (Almarzooq et al., 2020). Teknologi berperan signifikan dalam meningkatkan efektivitas dan interaktivitas pembelajaran, di mana siswa tidak hanya menerima pengetahuan, tetapi juga mengasah keterampilan yang relavan dengan tuntutan zaman (Laraphaty et al., 2021).

Salah satu materi sains yang sangat relavan dengan kehidupan sehari-hari adalah gelombang bunyi. Konsep ini berkaitan erat dengan fenomena seperti suara dari musik, percakapan, dan teknologi komunikasi (Setiawan, 2022). Pemahaman mendalam tentang gelombang bunyi tidak hanya penting untuk tujuan akademis, tetapi juga juga menjadi dasar bagi keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Di era digital saat ini, kemampuan menyampaikan gagasan ilmiah dengan jelas dan sistematis menjadi sangat penting dalam berbagai konteks, mulai dari pendidikan hingga

pengembangan teknologi. Karena itu, keterampilan komunikasi ilmiah perlu ditanamkan sejak dini, sesuai tuntutan kurikulum merdeka (Mayani et al., 2023). Kurikulum merdeka mengharuskan siswa untuk mengungkapkan hasil observasi dan percobaan secara verbal maupun tertulis. Namun, dalam kenyataannya, banyak siswa yang masih menghadapi hambatan dalam aspek ini (Budiyono, 2024).

Guru fisika di SMAN 1 Jogorogo menyampaikan bahwa siswa mengalami kesulitan dalam menyampaikan ide secara lisan. Kurangnya percaya diri serta belum terbiasanya siswa menyusun argument secara sistematis menjadi faktor utama rendahnya keterampilan komunikasi ilmiah. Hasil wawancara tersebut menunjukkan bahwa siswa belum mampu menyampaikan pemahaman mereka secara ilmiah dalam diskusi maupun presentasi kelas. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Yulianti dan Handayani (2021) menemukan bahwa banyak siswa kesulitan dalam mengungkapkan ide, menyampaikan hasil observasi, serta bertanya mengenai materi yang belum dipahami. Hambatan ini tidak hanya terjadi dalam interaksi verbal, tetapi juga dalam penulisan laporan ilmiah yang menjadi bagian penting dari pembelajaran fisika (Yulianti dan Handayani., 2021). penelitian oleh Saldo dan Walag (2020) menyatakan bahwa siswa masih belum terbiasa menyusun laporan

praktikum fisika secara sistematis dan menyampaikan hasil observasi melalui media lisan atau tulisan secara efektif (Saldo dan Walag., 2020) .

Studi awal melalui observasi di lapangan, menunjukkan pembelajaran fisika cenderung masih bersifat konvensional, bergantung pada LKS atau buku teks, dan belum mengoptimalkan teknologi sebagai media belajar interaktif. Siswa kurang mampu menyampaikan gagasan ilmiah dengan baik karena tidak adanya media pembelajaran yang mampu memfasilitasi keterampilan ini (Riski Inayah et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan penelitian lainnya, yang menyatakan bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran fisika masih belum optimal karena guru belum memahami sepenuhnya bagaimana mengintegrasikan teknologi dengan strategi pembelajaran da nisi materi. Selain itu, 68% siswa menyatakan bahwa pembelajaran fisika, khususnya pada materi gelombang bunyi, membutuhkan sumber belajar yang lebih inovatif agar materi lebih mudah dipahami dan menarik (sulman., 2022; Sastradika & Jumadi., 2019). Hal ini diperburuk dengan karakteristik materi seperti gelombang bunyi yang bersifat abstrak. Siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep yang berkaitan dengan frekuensi, amplitudo, maupun perambatan gelombang dalam

kehidupan sehari-hari, sehingga tidak mampu menjelaskan fenomena bunyi secara kontekstual (setiawan, 2022).

Hasil penelitian Fitrah (2020) juga menunjukkan bahwa banyak siswa memperoleh nilai dibawah rata-rata dalam aspek literasi sains. Permasalahan ini juga diperkuat oleh data dari NAEP (*National Assesment of Educational Progres*) yang mencatat bahwa banyak siswa menunjukkan nilai dibawah rata-rata dalam kemampuan sains. Pendekatan yang lebih efektif dalam pengajaran diperlukan (Fitrah, 2020). Selain itu penelitian oleh Setiawan (2022) mengungkapkan bahwa siswa juga menghadapi kesulitan dalam mengaitkan gelombang bunyi dengan aplikasi praktis. Kurangnya komunikasi ilmiah tidak hanya menghambat proses pemahaman konsep, tetapi juga berdampak pada rendahnya motivasi belajar siswa (Boisandi & Anita, 2017)

Menanggapi permasalahan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang mampu menjawab tantangan rendahnya keterampilan komunikasi ilmiah siswa serta kurangnya media pembelajaran inovatif, khususnya pada materi gelombang bunyi. Menyikapi permasalahan tersebut, penggunaan pendekatan yang tepat menjadi langkah penting dalam menemukan solusi pendekatan TPACK (*Technology, Pedagogy, and Content Knowledge*) dapat memberikan landasan yang kuat untuk

mengatasi isu ini. Pendekatan ini memadukan aspek teknologi, pedagogi, dan konten secara efektif, yang membantu menciptakan pengajaran yang lebih menarik dan relevan (Alfani, Budi, dan Bakri 2022).

Hasil belajar siswa mengalami peningkatan yang nyata melalui penerapan pendekatan TPACK, sebagaimana dibuktikan oleh data penelitian oleh penelitian Purnawati, Maison dan Haryanto (2020), yang membuktikan validasi ahli materi terhadap pendekatan berbasis TPACK menunjukkan skor 100% dengan katagori sangat layak mengindikasikan kesesuaian media dengan kurikulum, isi materi, dan interaksi balik yang signifikan (Purnawati, Maison dan Haryanto., 2020). validasi Penemuan ini menegaskan bahwa penerapan e-modul dapat meningkatkan hasil belajar siswa secara efektif (Yuniandriyani et al., 2022), serta dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, serta keterampilan komunikasi ilmiah siswa (Akbar et al., 2024).

Kebutuhan akan suatu media ajar yang tidak hanya memenuhi aspek konten, tetapi juga mampu mengintegrasikan teknologi dan pedagogi secara komprehensif semakin mendesak. Kesesuaian media pembelajaran dengan kebutuhan saat ini dapat ditemukan pada e-modul berbasis TPACK. E-modul berbasis TPACK memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode

pembelajaran tradisional, seperti interaktivitas yang lebih tinggi, aksesibilitas yang lebih fleksibel, serta memungkinkan pembelajaran mandiri yang dapat diakses secara fleksibel tanpa terbatas waktu dan tempat (Rayyan, 2022). E-modul juga dapat disesuaikan dengan cara belajar tiap siswa, yang dapat meningkatkan personalisasi pengalaman belajar, khususnya dalam mendalami konsep materi gelombang bunyi (Akbar et al., 2024).

Produk e-modul hasil pengembangan dalam studi ini secara khusus dirancang untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah secara efektif. E-modul ini mencakup latihan presentasi dan penulisan laporan ilmiah, serta fitur simulasi interaktif yang memungkinkan siswa untuk mengamati secara langsung bagaimana gelombang bunyi merambat melalui berbagai medium (Perubahan, 2024). Salah satu aktivitas unggulan adalah simulasi interaktif dan latihan berbasis proyek, seperti analisis frekuensi suara menggunakan aplikasi pendukung atau eksperimen sederhana untuk mengukur kecepatan suara di udara. Dengan pendekatan ini, siswa dapat memahami konsep dengan lebih nyata dan aplikatif (Muljo et al., 2024).

Guru dan pengembang pembelajaran membutuhkan media pembelajaran yang interaktif dan mendukung integrasi multimedia sebagai upaya mendukung implementasi TPACK secara optimal (Rahmawati &

Khoirurrosyid, 2022). Salah satu media yang potensial adalah aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*, yang mampu mengubah file PDF menjadi buku digital interaktif dengan fitur animasi, video, audio dan elemen multimedia lainnya (Ashari & Puspasari, 2024). Hasil ini diperkuat oleh temuan Rahmawati dan Khoirurrosyid (2022) yang mengindikasikan bahwa penerapan aplikasi seperti *Heyzine Flipbook Maker* mampu meningkatkan minat dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran(Rahmawati & Khoirurrosyid, 2022). Aplikasi ini juga mendukung kolaborasi serta eksplorasi mandiri, sejalan dengan prinsip TPACK (Budiarti et al., 2021).

Penerapan pendekatan ini, guru diharapkan dapat mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran gelombang bunyi secara lebih efektif. Pemahaman siswa dalam pembelajaran diperkuat sekaligus mendorong pengembangan keterampilan abad ke-21, khususnya dalam aspek keterampilan komunikasi ilmiah (Amalida & Halimah, 2023). Penggunaan e-modul berbasis TPACK yang diimplementasikan melalui *Heyzine Flipbook Maker* diharapkan menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains di era digital (Budiarti et al., 2021).

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada materi gelombang bunyi. Tujuannya adalah menghasilkan media pembelajaran yang inovatif, aplikatif, dan efektif, serta memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dan peningkatan mutu pembelajaran sains secara keseluruhan.

B. Identifikasi Masalah

Penjabaran pada bagian latar belakang menunjukkan bahwa terdapat beberapa persoalan yang terjadi selama proses pembelajaran fisika berlangsung, di antaranya sebagai berikut:

1. Keterampilan komunikasi ilmiah siswa pada mata pelajaran fisika tergolong rendah.
2. Kurangnya pemanfaatan media pembelajaran interaktif yang mampu mendukung siswa dalam memahami konsep fisika dengan lebih efektif.
3. Materi gelombang bunyi yang melibatkan konsep abstrak sering kali menjadi tantangan bagi siswa untuk dipahami.

C. Pembatasan Masalah

Hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan mendorong peneliti untuk menetapkan batasan guna

memperjelas fokus penelitian. Adapun pembatasan masalah dalam studi ini meliputi:

1. Keterampilan komunikasi ilmiah siswa yang berkaitan dengan mata pelajaran fisika, dalam aspek pencarian informasi, menulis, membaca, mendengar dan mengamati, representasi informasi, dan juga presentasi pengetahuan fisika, termasuk dalam materi gelombang bunyi.
2. Pengembangan dan penerapan e-modul pembelajaran berbasis TPACK yang menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. E-modul ini dirancang untuk menyajikan materi secara interaktif dan menarik, sehingga dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep gelombang bunyi.
3. Penggunaan media pembelajaran interaktif, fokus pada media interaktif seperti video, simulasi, dan konten multimedia dalam e-modul yang bertujuan untuk membantu siswa memahami materi gelombang bunyi secara lebih efektif.
4. Materi gelombang bunyi yang dipilih karena merupakan materi abstrak yang memerlukan pemahaman konsep mendalam dan keterampilan komunikasi ilmiah yang baik.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tingkat kelayakan e-modul fisika berbasis TPACK yang memanfaatkan platform *Heyzine Flipbook Maker* pada pembelajaran gelombang bunyi?
2. Bagaimana efektivitas penerapan e-modul pembelajaran fisika berbasis TPACK terhadap keterampilan komunikasi pada pembelajaran gelombang bunyi?
3. Bagaimana persepsi siswa SMA kelas XI pada pembelajaran gelombang bunyi dalam pembelajaran fisika berbasis TPACK terhadap keterampilan komunikasi?

E. Tujuan Pengembangan

Penetapan tujuan penelitian ini dilakukan berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu untuk:

1. Mendapatkan kelayakan e-modul pembelajaran fisika berbasis TPACK yang menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada topik gelombang bunyi di tingkat kelas XI jenjang SMA.
2. Menganalisis efektivitas penggunaan e-modul pembelajaran fisika berbasis TPACK dalam

meningkatkan keterampilan komunikasi siswa pada materi gelombang bunyi di kelas XI SMA.

3. Menganalisis persepsi siswa kelas XI SMA terhadap penggunaan e-modul pembelajaran fisika berbasis TPACK pada materi gelombang bunyi dan dampaknya terhadap keterampilan komunikasi.

F. Manfaat Pengembangan

Pengembangan ini diharapkan memberikan manfaat berupa disarankan semua kalangan yang bersangkutan, di antaranya sebagai berikut:

1. Bagi siswa:
 - a. Penggunaan e-modul berbasis TPACK dapat membantu siswa memahami konsep fisika yang abstrak, seperti gelombang bunyi, dengan cara yang lebih interaktif. Dengan tampilan visual yang menarik, siswa dapat lebih cepat menangkap inti dari konsep yang diajarkan.
 - b. E-modul ini juga memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan yang dapat meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dalam proses pembelajaran.

2. Bagi guru
 - a. E-modul berbasis TPACK memberikan alat ajar yang inovatif bagi guru, mempermudah guru dalam menyajikan materi fisika secara menarik dan efektif. Hal ini meningkatkan kemampuan guru untuk memfasilitasi diskusi dan interaksi yang lebih baik antara siswa dan guru.
 - b. Dengan menggunakan e-modul ini, guru dapat menginformasikan efektivitas pembelajaran serta memantau keterampilan komunikasi ilmiah siswa dengan lebih baik.
 3. Bagi sekolah
 - a. Pengembangan e-modul ini menghasilkan media pembelajaran yang berkualitas, yang dapat digunakan dalam kurikulum fisika, sehingga meningkatkan mutu pendidikan di sekolah.
 - b. Inovasi pembelajaran melalui e-modul juga dapat meningkatkan reputasi sekolah sebagai lembaga yang menggunakan metode pembelajaran modern dan berbasis teknologi.
 4. Bagi peneliti
 - a. Penelitian ini memberikan pengalaman dan pengetahuan baru dalam mengembangkan bahan ajar berbasis TPACK, serta memperkuat keterampilan peneliti dalam penelitian pendidikan.

- b. Penelitian ini mendorong peneliti untuk terus berinovasi dalam menciptakan bahan ajar yang relevan dan efektif untuk pembelajaran fisika.
- 5. Bagi pihak lainnya
 - a. E-modul ini dapat digunakan sebagai referensi bagi pendidik lain dan peneliti yang tertarik dalam penerapan inovasi pembelajaran fisika berbasis TPACK.
 - b. Informasi dan data yang dihasilkan dari pengembangan e-modul ini juga bermanfaat bagi pengambil kebijakan pendidik, untuk meningkatkan praktik pengajaran dan pembelajaran di tingkat sekolah.

G. Asumsi Pengembangan

Asumsi yang digunakan dalam pengembangan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1. E-modul materi gelombang bunyi berbasis TPACK dapat meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa kelas XI SMA.
- 2. E-modul materi gelombang bunyi berbasis TPACK yang menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* diyakini akan meningkatkan kemampuan siswa kelas XI SMA dalam menulis, membaca, dan berdiskusi secara interaktif mengenai konsep-konsep fisika.

3. Pengembangan e-modul berbasis TPACK yang menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* diharapkan akan menciptakan pengalaman belajar yang menarik, meningkatkan motivasi dan antusiasme siswa kelas XI SMA dalam mempelajari fisika.

H. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Spesifikasi produk yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. E-modul dilengkapi aktivitas interaktif untuk mendorong kolaborasi siswa dan alat evaluasi guna mengukur keterampilan komunikasi.
2. E-modul dikembangkan berbasis TPACK dengan pokok bahasan materi gelombang bunyi.
3. E-modul dirancang dalam bentuk modul elektronik yang dapat diakses secara offline dan online.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Keterampilan Komunikasi ilmiah

Komunikasi ilmiah adalah proses menyampaikan informasi baru terkait ilmu pengetahuan, baik secara lisan maupun tulisan. Proses ini mencakup menyampaikan informasi, ide, emosi, dan keterampilan dalam memahami simbol-simbol, sehingga tercipta interaksi sosial yang relevan dengan penelitian atau pembelajaran (Pramesti et al., 2020).

Keterampilan ini meliputi kemampuan menjelaskan teori, menginterpretasi grafik, dan menguraikan gambar secara jelas. Dalam pendidikan, komunikasi ilmiah membantu siswa memahami dan menyampaikan konsep ilmiah secara tepat, menjadikannya keterampilan utama abad ke-21 yang mendukung penguasaan ilmu pengetahuan dan interaksi dalam pembelajaran (Mayani et al., 2023).

Menurut Levy (2009), keterampilan komunikasi ilmiah mencakup enam indikator utama. Tiga indikator pertama, yaitu *information retrieval*, *scientific reading*, serta *listening and observation*, berfungsi untuk memperoleh informasi dari berbagai sumber ilmiah secara efektif. Sementara itu, tiga indikator lainnya, yaitu

scientific writing, information representation, dan knowledge presentation, berperan dalam menyampaikan informasi secara ilmiah melalui tulisan, visualisasi data, maupun presentasi pengetahuan kepada khalayak. Indikator keterampilan komunikasi ilmiah siswa bisa diuraikan dalam beberapa komponen yang tertera pada tabel 2.1 (Suwarni, 2023).

Tabel 2. 1 Indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah.

Indikator	Uraian	Komponen
Pencarian informasi (<i>information retrieval</i>)	Kemampuan mencari dan memanfaatkan sumber informasi yang relevan dan dapat dipercaya	Kemampuan menggunakan berbagai sumber ilmiah seperti jurnal, buku referensi, dan situs terpercaya sebagai dasar argumen atau penulisan ilmiah
Membaca ilmiah (<i>Scientific reading</i>)	Kemampuan membaca dan memahami teks ilmiah, seperti artikel ilmiah	Kemampuan memilah informasi penting melalui teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan
Mendengar dan mengamati (<i>listening and observing</i>)	Kemampuan mengumpulkan informasi melalui mendengarkan dan mengamati	<ul style="list-style-type: none"> - Kemampuan melakukan observasi sistematis - Mencatat data hasil pengamatan
menulis ilmiah (<i>Scientific Writing</i>)	Kemampuan menyusun laporan atau artikel ilmiah dengan struktur yang sesuai dan jelas	Kemampuan menyusun kalimat ilmiah, mengorganisasi informasi, menyajikan data, dan membuat analisis sesuai kaidah penulisan ilmiah
Representasi informasi (<i>information representation</i>)	Kemampuan menyajikan informasi dalam bentuk alternatif, seperti grafik atau diagram	Kemampuan mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti tabel, grafik, diagram

Indikator	Uraian	Komponen
presentasi pengetahuan (<i>knowledge presentation</i>)	Kemampuan mempresentasikan hasil penelitian secara lisan atau dengan media lainnya	Kemampuan menyampaikan informasi secara verbal menggunakan bahasa yang jelas, serta menggunakan media presentasi seperti slide, video, atau alat bantu visual lainnya

Pencarian informasi (*information retrieval*) merujuk pada kemampuan untuk mencari dan memanfaatkan sumber informasi yang relavan dan dapat dipercaya. Sumber yang dapat diandalkan bisa diperoleh dari buku ilmiah, artikel, atau wawancara dengan para ahli (Pramesti et al., 2020). Mengakses berbagai sumber ilmiah memungkinkan peserta didik untuk mengenal jurnal-jurnal ilmiah yang sesuai dengan tingkat kemampuan kognitif siswa. Setelah berhasil mengumpulkan sumber informasi yang relavan, langkah selanjutnya adalah memilah dan memahami informasi tersebut melalui proses membaca ilmiah yang efektif (Suwarni, 2023).

Membaca ilmiah (*Scientific reading*) merupakan kemampuan untuk membaca teks ilmiah, seperti artikel-artikel ilmiah. Keterampilan ini fokus pada teknik membaca artikel ilmiah dan strategi yang membantu peserta didik membaca secara lebih efisien. Peserta didik akan mempelajari metode membaca yang dibagi

menjadi dua tahapan utama: membaca selektif dengan memindai artikel secara cepat, dan membaca mendalam untuk menggali informasi lebih lanjut (Ummiah & Fuadiyah, 2024). Latihan membaca sekilas membantu peserta didik memilih sumber yang relevan dengan tujuan penulisan. Pemahaman yang baik memungkinkan siswa menuangkan hasil bacaannya ke dalam tulisan ilmiah.

Aktivitas menuangkan hasil penelitian ke dalam bentuk laporan atau artikel ilmiah biasa disebut dengan menulis ilmiah (*Scientific Writing*). Kegiatan ini mencakup penyajian data, analisis, dan temuan penelitian secara terstruktur sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah (N. A. Putri, 2023). Tujuannya adalah menyampaikan informasi penelitian dengan jelas dan dapat dipahami oleh pembaca. Selain menulis, keterampilan mendengar dan mengamati juga penting dalam proses penelitian.

Mendengar dan mengamati (*listening and observing*) melibatkan pengumpulan informasi melalui mendengarkan dan observasi. Setelah mengumpulkan data, siswa harus menyajikan dalam bentuk yang mudah dipahami. Representasi informasi (*information representation*) mencakup penyajian informasi dalam bentuk lain, seperti grafik, diagram, atau tabel, untuk

mempermudah pemahaman. Kedua keterampilan ini mendukung peserta didik dalam memahami konsep dan menyampaikan hasil observasi dengan efektif (Ummiah & Fuadiyah, 2024). Hasil informasi yang telah direpresentasikan perlu disampaikan kepada orang lain melalui kegiatan presentasi.

Presentasi pengetahuan sebagai bagian dari keterampilan komunikasi ilmiah mencakup penyampaian hasil penelitian secara lisan, melalui media multimedia, atau melalui poster dan model yang merepresentasikan temuan penelitian (Amalida & Halimah, 2023).

Keterampilan komunikasi ilmiah menjadi bagian esensial yang harus dimiliki peserta didik untuk menginterpretasikan serta menyampaikan informasi secara efektif. Dalam konteks keterampilan proses sains, kemampuan ini mencakup aktivitas membaca data eksperimen, merepresentasikan informasi dalam bentuk grafik, tabel, atau diagram, menguraikan hasil pengamatan secara runtut, dan menyusun laporan ilmiah dengan struktur yang logis dan mudah dipahami (Suwarni, 2023).

Menurut Levy et al. (2009) Keterampilan komunikasi ilmiah terdiri atas enam indikator. Tiga indikator pertama mencakup *information retrieval*,

scientific reading, dan *listening and observing* yang berfungsi untuk memperoleh informasi dari berbagai sumber ilmiah. Tiga indikator berikutnya, yaitu *scientific writing*, *information representation*, dan *knowledge presentation*, berkaitan dengan kemampuan menyampaikan informasi secara ilmiah melalui tulisan, visualisasi data, dan presentasi lisan. Kombinasi indikator-indikator ini mendukung peserta didik dalam memahami konsep sains dan menyampaikan temuan dengan lebih efektif (Mayani et al., 2023).

2. E-Modul

Upaya pemerintah untuk memperbarui programnya, bidang pendidikan harus beradaptasi dengan perkembangan saat ini untuk mencegah hal tersebut terjadi, dimana siswa tertinggal dalam memanfaatkan teknologi untuk belajar. Sekali coba penyesuaian ini dimulai dari tingkat paling dasar, kelas pembelajaran internal. Teknologi dalam pendidikan memegang peranan penting dalam pembelajaran saat ini, yang merupakan salah satu solusi yang menciptakan bahan ajar yang inovatif dan mudah dipelajari. Berfungsi sebagai modul elektronik (E-module) (Lailan, 2024).

E-modul adalah bahan ajar berbasis teknologi informasi dan komunikasi (ICT) dalam format elektronik yang dirancang untuk membantu siswa belajar secara

mandiri. Modul ini dapat diakses melalui perangkat elektronik seperti ponsel, laptop, atau komputer, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam proses pembelajaran. Guru berperan sebagai fasilitator dalam mendukung penggunaan e-modul, yang menyajikan materi secara sistematis mulai dari pengantar hingga evaluasi (Rahmawati & Khoirurrosyid, 2022).

Indikator e-modul adalah kriteria penting untuk menilai kualitas e-modul dalam mendukung pembelajaran yang efektif. Indikator ini meliputi tampilan yang menekankan estetika dan keterbacaan, serta bahasa yang komunikatif. Ilustrasi berfungsi memperjelas konsep, sedangkan video dan narasi mendukung pembelajaran audiovisual. Aspek backsound meningkatkan suasana belajar, dan kelengkapan memastikan semua elemen pembelajaran tersedia. Sementara kegrafikan mencakup desain yang menarik dan mudah dibaca (Santoso et al., 2023).

Modul memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah:

- a. Memudahkan siswa dalam memahami isi materi atau konten yang disajikan,
- b. Efisiensi waktu, ruang, dan tenaga baik dari sisi guru maupun siswa,

- c. Meningkatkan kemampuan metakognisi yang memungkinkan siswa dapat menilai dan mengukur sejauh mana keterampilan mereka telah berkembang.

Langkah penyusunan modul yang diuraikan oleh Widodo (2008), memiliki beberapa komponen berikut:

- a. Penentuan standar kompetensi dan rencana kegiatan belajar-mengajar,
- b. Analisis kebutuhan modul pembelajaran,
- c. Draf modul pembelajaran yang sudah disusun,
- d. Uji coba,
- e. Validasi, revisi, dan produksi.

E-modul memiliki beberapa karakteristik utama yang membuatnya unggul dibandingkan bahan ajar konvensional. Pertama, sifat *self-instruction* memungkinkan siswa belajar secara mandiri tanpa harus selalu didampingi guru. Selain itu, e-modul bersifat *stand-alone*, artinya dapat digunakan tanpa perangkat tambahan lainnya. Modul ini juga adaptif terhadap perkembangan teknologi dan kebutuhan pembelajaran, serta dirancang *user-friendly* dengan bahasa yang sederhana dan mudah dipahami (Arisandi et al., 2024).

Salah satu daya tarik utama e-modul adalah fleksibilitasnya, yang memungkinkan siswa belajar

kapan saja dan dimana saja. selain itu, e-modul bersifat interaktif, dengan materi yang dikemas dalam format multimedia seperti video, animasi, audio, grafik dan tabel. Hal ini membantu siswa memahami materi secara lebih efektif dan menarik (Sholeh et al., 2023).

E-modul disusun secara sistematis dan berurutan, mulai dari pengantar hingga evaluasi. Dengan penyajian materi yang jelas dan terstruktur, siswa dapat lebih mudah memahami topik yang diajarkan (Suryani, 2022). Hal ini menjadikan e-modul alat yang efektif untuk mempelajari konsep-konsep kompleks, seperti pembelajaran fisika yang memiliki banyak subtopik (Rizal et al., 2021).

Penggunaan e-modul memberikan banyak manfaat bagi siswa. Modul ini tidak hanya memotivasi siswa untuk belajar secara mandiri, tetapi juga membantu mengukur dan mengontrol kemampuan belajar (Lastri, 2023). Selain itu, e-modul memungkinkan siswa mengevaluasi pemahaman terhadap materi dan fokus pada bagian yang perlu diperbaiki.

Meski memiliki banyak kelebihan, e-modul juga memiliki beberapa keterbatasan dan kelemahan. Salah satunya adalah kebutuhan akan kedisiplinan yang tinggi dari siswa untuk belajar secara mandiri. Selain itu, proses penyusunan e-modul membutuhkan waktu dan

keahlian khusus, serta dapat menjadi tantangan bagi siswa yang belum terbiasa dengan pembelajaran berbasis teknologi (Qamariah & Windiyani, 2023).

Dibandingkan dengan modul cetak, e-modul menawarkan lebih banyak keunggulan. Modul cetak umumnya hanya berisi teks gambar, sementara e-modul dilengkapi dengan elemen multimedia yang membuat pembelajaran lebih menarik dan dinamis. Hal ini menjadikan e-modul sebagai alat yang lebih relavan dalam mendukung pembelajaran di era digital (Utami et al., 2023).

Beberapa prinsip utama perlu diperhatikan dalam proses pengembangan e-modul agar sesuai dengan tujuan pembelajaran. Modul harus dapat membangkitkan minat siswa, ditulis dengan tujuan pembelajaran yang jelas, serta dirancang secara fleksibel untuk memenuhi kebutuhan pembelajaran siswa. Selain itu, e-modul harus membantu siswa mengatasi kesulitan belajar dan memberikan navigasi yang mudah digunakan (Lastri, 2023).

E-modul dirancang untuk membantu siswa belajar mandiri dengan panduan yang jelas dan terstruktur. Bahasa yang digunakan bersifat komunikatif dan interaktif, sehingga memudahkan siswa memahami materi. Dengan sifat fleksibel dan adaptif, e-modul

menjadi alat yang sangat membantu dalam menjelaskan topik kompleks (Najuah et al., 2020).

E-modul merupakan inovasi pembelajaran yang relevan di era digital. Dengan berbagai keunggulan, seperti fleksibilitas, interaktivitas, dan kemampuan adaptasi terhadap kebutuhan siswa, e-modul membantu meningkatkan pemahaman materi dan memberikan motivasi belajar. Meski memiliki keterbatasan, manfaat yang ditawarkan menjadikan e-modul pilihan yang tepat untuk mendukung pembelajaran modern abad ke-21 (Rizal et al., 2021).

3. Aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*

Heyzine Flipbook Maker adalah aplikasi online yang dirancang untuk mengubah file pdf menjadi flipbook digital atau buku digital interaktif (Erawati et al., 2022). Dengan tampilan menyerupai buku cetak, aplikasi ini mengintegrasikan elemen multimedia, seperti video, gambar, grafik, audio, dan tautan, sehingga menciptakan e-modul yang lebih menarik secara visual (Manzil et al., 2022).

Heyzine Flipbook Maker memiliki karakteristik utama yang membedakannya dari aplikasi serupa. Pertama, aplikasi ini menawarkan efek halaman realistik yang menyerupai buku cetak, memberikan pengalaman membaca yang unik. Kedua, *Heyzine Flipbook Maker*

mendukung integrasi elemen multimedia yang memungkinkan pembelajaran lebih interaktif. Ketiga, flipbook digital yang dihasilkan dapat diakses dari beberapa perangkat, seperti komputer, tablet, maupun ponsel, sehingga memudahkan pengguna dalam belajar dimana saja dan kapan saja (Perubahan, 2024).

Penggunaan *Heyzine Flipbook Maker* membawa banyak manfaat, baik bagi siswa maupun guru. Untuk siswa, aplikasi ini memberikan pengalaman pembelajaran yang menarik dengan tampilan visual yang dinamis dan interaktif (Ashari & Puspasari, 2024). Elemen multimedia yang terintegrasi memungkinkan siswa memahami materi dengan lebih mudah. Selain itu, aksesibilitas dari berbagai perangkat memberikan fleksibilitas waktu dan tempat belajar. Bagi guru, *Heyzine Flipbook Maker* mempermudah pembuatan bahan ajar yang inovatif, interaktif, dan menarik. Sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan penggunaan kertas (Muhammad et al., 2024).

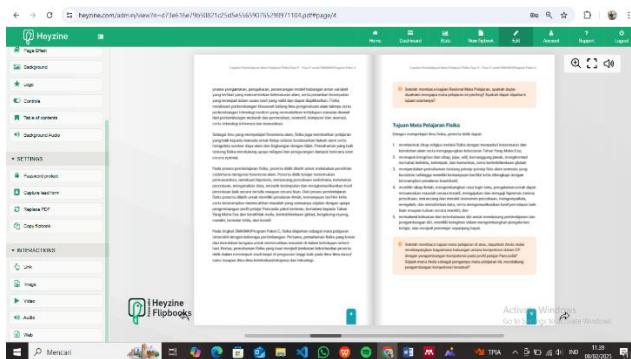
Meskipun memiliki banyak kelebihan, *Heyzine Flipbook Maker* ini juga memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya adalah ketergantungan pada koneksi internet untuk mengakses dan membagikan flipbook. Selain itu, fitur-fitur premium yang lebih canggih

memerlukan biaya tambahan, sehingga menjadi kendala bagi pengguna dengan keterbatasan anggaran. Kesulitan teknis dalam mengoprasikan aplikasi juga bisa menjadi tantangan bagi pengguna yang kurang familiar dengan teknologi (Manzil et al., 2022).

Pengguna *Heyzine Flipbook Maker* dapat diukur melalui beberapa indikator. Pertama, keberhasilan aplikasi ini dalam meningkatkan interaktivitas pembelajaran dengan integrasi multimedia. Kedua, efektivitas dalam mendukung pemahaman siswa terhadap materi pembelajaran. Ketiga, fleksibilitas aksesibilitas yang memungkinkan siswa dan guru untuk belajar atau mengajar di mana saja. kelima, dampaknya terhadap efisiensi waktu guru dalam menyusun bahan ajar. Terakhir, kontribusinya terhadap pengurangan penggunaan kertas sebagai upaya mendukung keberlanjutan lingkungan (S. K. Putri et al., 2024).

Heyzine Flipbook Maker adalah solusi modern untuk menciptakan bahan ajar yang interaktif, menarik, dan ramah lingkungan. Dengan fitur-fitur unggulannya, aplikasi ini tidak hanya mendukung pembelajaran yang lebih efektif tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan bagi siswa (Ismail, 2019; Muljo et al., 2024). Kemampuan aplikasi ini untuk menggabungkan elemen multimedia, fleksibilitas akses,

dan upaya mendukung keberlanjutan menjadikannya pilihan ideal bagi guru dan siswa untuk menghadapi tantangan pembelajaran di era digital. Inovasi ini dapat menjadi salah satu langkah penting dalam mengintegrasikan e-modul berbasis TPACK berbantuan *Heyzine Flipbook Maker* ke dalam pendidikan (Muhammad et al., 2024).



Gambar 2. 1 Tampilan Aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*

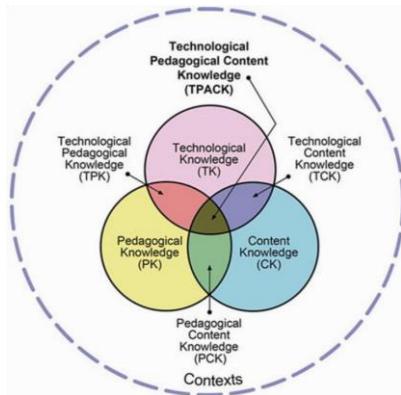
4. *Technology, Pedagogy, and Content Knowledge* (TPACK) *TPACK (Technology, Pedagogy, and Content Knowledge)* adalah kerangka kerja yang mengintegrasikan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten dalam pembelajaran (Rambe & Pahlevi, 2022). Konsep ini dikembangkan berdasarkan teori PCK (*Pedagogy, Content Knowledge*) oleh shulman (1986) yang menekankan pentingnya pengajaran yang tidak hanya berfokus pada materi atau metode saja, tetapi juga

menggabungkan teknologi untuk meningkatkan efektifitas pembelajaran. Dengan TPACK, guru dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih dinamis dan interaktif (Rayyan, 2022).

Karakteristik utama TPACK mencakup tujuh komponen, yaitu:

- a. CK (*Content Knowledge*) yang berfokus pada pemahaman terhadap materi pembelajaran
- b. PK (*Pedagogy Knowledge*) yang mencakup strategi dan metode mengajar
- c. TK (*Technology Knowledge*) yang melibatkan pemahaman teknologi dalam mendukung pembelajaran.

Selain itu, terdapat kombinasi pengetahuan seperti, PCK (*Pedagogy Content Knowledge*), TCK (*Technology Content Knowledge*), TPK (*Technology Pedagogy Knowledge*), dan sinergi penuh dari ketiga elemen yang dikenal sebagai TPACK (*Technology, Pedagogy and Content Knowledge*) itu sendiri (Hardanti et al., 2024).



Gambar 2. 2 Kerangka TPACK dan Komponen Pengetahuan

Kelebihan TPACK terletak pada kemampuannya membantu guru dalam menyesuaikan teknologi dengan kebutuhan pembelajaran, meningkatkan keterlibatan siswa melalui media interaktif, serta memungkinkan metode pengajaran yang lebih fleksibel dan inovatif (Munif Nugroho et al., 2019). Hal ini mempermudah adaptasi terhadap perkembangan teknologi dalam pendidikan.

Kemudahan penggunaan TPACK didukung oleh banyaknya sumber daya digital yang tersedia, fleksibilitas dalam berbagai model pembelajaran, serta kemampuannya membantu guru mengembangkan strategi pembelajaran berbasis teknologi secara bertahap (Novilia, 2021).

Manfaat utama dari penerapan TPACK adalah membantu guru memahami cara terbaik menggabungkan teknologi dalam pengajaran, meningkatkan efektifitas pembelajaran, dan mendorong kreativitas dalam penyampaian materi. Selain itu, siswa menjadi lebih aktif dalam proses pembelajaran (Rahmawati & Khoirurrosyid, 2022).

Namun, TPACK juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti kebutuhan akan keterampilan teknologi yang cukup bagi guru, keterbatasan akses teknologi di beberapa sekolah, serta waktu yang diperlukan untuk menyesuaikan pembelajaran dengan teknologi yang digunakan (Budiarti et al., 2021).

Perbedaan utama TPACK dengan pendekatan lain adalah penekanannya pada integrasi teknologi dalam pembelajaran, sedangkan pendekatan tradisional lebih banyak berfokus pada metode konvensional yang tidak selalu melibatkan teknologi (Widiazizah et al., 2022). Indikator keberhasilan TPACK meliputi kemampuan guru dalam memahami dan menerapkan CK, PK, dan TK, penggunaan teknologi untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, serta mengembangkan strategi inovatif berbasis teknologi. Prinsip pengembangannya mencakup keseimbangan antara CK, PK, dan TK, menyesuaikan teknologi dengan kebutuhan siswa, serta

menggunakannya secara kreatif untuk meningkatkan keterlibatan siswa (Purnawati et al., 2020).

Penerapan TPACK dalam pembelajaran fisika memungkinkan guru memanfaatkan simulasi digital, aplikasi interaktif, dan eksperimen virtual untuk mempermudah pemahaman konsep. Misalnya, dalam materi gelombang bunyi, guru dapat menggunakan software simulasi untuk menjelaskan prinsip aliran fluida secara lebih nyata. Dengan demikian, siswa dapat lebih memahami konsep fisika secara visual dan praktis (Yuniandriyani et al., 2022).

TPACK mengintegrasikan komunikasi ilmiah dalam pembelajaran fisika dengan pemanfaatan teknologi, seperti aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. *Heyzine Flipbook Maker* membantu guru dalam menyusun e-modul interaktif yang mendukung siswa dalam memahami konsep fisika dan menyampaikan pemahamannya secara lebih sistematis. Fitur multimedia dalam *Heyzine flipbook maker* membantu siswa untuk mengasah keterampilan komunikasi ilmiah, seperti menjelaskan fenomena fisika dengan visualisasi yang lebih menarik dan argumentasi yang lebih terstruktur (Novilia, 2021).

Penerapan TPACK sangat penting dalam dunia pendidikan karena mampu meningkatkan kualitas

pembelajaran melalui integrasi teknologi yang efektif, membantu siswa memahami konsep dengan lebih mudah dan menarik dan menyesuaikan pendidikan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan abad ke-21. Hal ini juga mempersiapkan siswa untuk menghadapi dunia yang semakin berbasis teknologi (Meilani & Aiman, 2020).

5. Gelombang bunyi

Capaian pembelajaran pada akhir fase F, ditandai dengan kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep dan prinsip vektor pada kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonik dan gelombang bunyi dan cahaya untuk menyelesaikan masalah. Pemahaman dan penerapan prinsip energi kalor dan termodinamika dalam mesin kalor juga dikuasai (Kemendikbud, 2022).

Peserta didik mampu menggunakan konsep kelistrikan (statis dan dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai permasalahan dan produk teknologi, sekaligus memahami gejala gelombang elektromagnetik. Analisis keterkaitan besaran fisis dalam teori relativitas khusus dan gejala kuantum turut menjadi bagian dari kompetensi, termasuk penerapan fisika inti dan

radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi (Kemendikbud, 2022).

Pendalaman aspek fisika sesuai minat menjadi bekal untuk melanjutkan ke perguruan tinggi di bidang terkait. Sikap ilmiah dan profil pelajar pancasila, seperti kemandirian, inovasi, berpikir kritis, kreativitas, dan gotong royong, juga dikembangkan melalui kerja ilmiah (Kemendikbud, 2022).

a. Pengertian dan Karakteristik Gelombang bunyi

Fisika adalah ilmu dasar yang diteliti dalam berbagai bidang, termasuk bidang teknologi, teknik, kesehatan, dan militer. Misalnya, ahli biologi meneliti produksi suara, insinyur mengembangkan teknologi untuk mengurangi kebisingan, dan dokter menggunakan gelombang bunyi dalam diagnosis medis (Halliday et al., 2010, p.35).

Gelombang bunyi sendiri merupakan jenis gelombang longitudinal yang membutuhkan medium untuk merambat. Gelombang ini dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti sonar pada kapal, pendektsian, sumber minyak dan pemindaian janin dengan USG. Dalam fisika gelombang bunyi dapat merambat dalam bentuk sferis di dekat sumber dan

menjadi lebih datar seiring jaraknya bertambah (Halliday et al., 2010, p.35).

Gelombang bunyi adalah gelombang longitudinal yang terbentuk akibat perapatan dan perenggangan dalam medium gas, cair, atau padat. Gelombang ini muncul ketika suatu benda bergetar, seperti garpu tala atau senar biola, sehingga mengganggu kerapatan medium. Gangguan ini merambat melalui interaksi antar molekul, di mana molekul-molekul hanya bergetar bolak-balik disekitar posisi kesetimbangan tanpa berpindah (Abdullah, 2017).

Dalam gas, gelombang bunyi berkaitan erat dengan perubahan kerapatan dan tekanan, sehingga dapat dianggap sebagai gelombang tekanan. Seperti gelombang pada tali yang dinyatakan dalam fungsi simpangan transversal, gelombang bunyi memiliki fungsi analog berupa simpangan longitudinal molekul gas atau perubahan tekanannya. (Tipler, 2006).

Bunyi memiliki beberapa karakteristik utama, yaitu:

- 1) Frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat bunyi: frekuensi menentukan tinggi nada, panjang gelombang berhubungan dengan jarak antar puncak gelombang, dan cepat rambat bunyi bergantung pada medium bunyi merambat.

- 2) Amplitudo dan intensitas bunyi: amplitudo menentukan keras lembutnya bunyi.
- 3) Tinggi nada, warna nada, dan keras lembutnya bunyi: tinggi nada bergantung pada frekuensi, warna nada membedakan bunyi dari sumber yang berbeda, dan keras lembutnya bunyi dipengaruhi oleh amplitudo dan intensitasnya.
- 4) Intensitas mengukur energi yang dibawa gelombang per satuan luas.

Frekuensi adalah jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Dalam konteks gelombang bunyi, frekuensi menunjukkan seberapa cepat partikel medium bergetar saat gelombang bunyi merambat melaluiinya. Frekuensi berpengaruh langsung terhadap tinggi rendahnya bunyi yang kita dengar. Semakin tinggi frekuensinya, semakin tinggi pula nada bunyinya. Frekuensi juga menjadi dasar dalam pengelompokan bunyi menjadi infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik.

Berdasarkan frekuensinya, bunyi terbagi menjadi tiga:

- 1) Infrasonik (<20 Hz) – Didengar oleh beberapa hewan seperti gajah dan anjing.

- 2) Audiosonik (20 – 20.000 Hz) – Rentang bunyi yang dapat didengar manusia.
- 3) Ultrasonik (>20.000 Hz) – Digunakan dalam teknologi seperti USG dan sonar.

Bunyi memiliki dua aspek utama yang dirasakan telinga:

- 1) Kekuatan bunyi (*Loudness*) mencerminkan energi yang dibawa gelombang bunyi.
- 2) Ketinggian bunyi (*pitch*) bergantung pada frekuensi, di mana ada nada tinggi memiliki frekuensi tinggi, dan nada rendah memiliki nada rendah.

Rentang frekuensi pendengaran manusia adalah 20 Hz – 20.000 Hz. Bunyi di atasnya disebut ultrasonik, yang dapat didengar anjing atau kelelawar, sedangkan bunyi di bawahnya disebut infrasonik, seperti suara gempa atau suara ledakan gunung berapi (Abdullah, 2017).

b. Energi, Daya, dan Intensitas Bunyi

Energi gelombang bunyi adalah energi yang dibawa oleh gelombang selama merambat melalui medium. Energi ini berhubungan dengan amplitudo, frekuensi, dan massa jenis medium. Semakin besar amplitudo dan frekuensinya, semakin besar energi yang dibawa gelombang. Energi total gelombang

dapat diekspresikan dalam bentuk energi kinetik dan energi potensial dari partikel-partikel medium yang bergetar (Tipler, 2006). Dalam konteks gelombang longitudinal seperti bunyi, energi per satuan volume juga berbanding lurus terhadap kuadrat dari amplitudo gelombang. Dengan demikian, semakin kuat getaran (amplitudo tiggi), maka semakin besar pula energi yang dihantarkan oleh gelombang bunyi (Halliday et al., 2010).

Intensitas bunyi mengacu pada laju rata-rata energi yang dipindahkan oleh gelombang bunyi per satuan luas saat melewati suatu permukaan. Jika seorang mencoba tidur di dekat sumber musik yang keras, akan merasakan bahwa selain frekuensi dan panjang gelombang, intensitas juga berperan penting (Halliday et al., 2010, p.35).

Intensitas bunyi menyatakan energi yang dibawa gelombang per satuan luas dalam satuan waktu, dirumuskan dalam persamaan 2.1 (Halliday et al., 2010).

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Jika cepat rambatnya kesemua arah maka dapat dirumuskan pada persamaan 2.1 :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

I : Intensitas (Watt/m²)

P : Daya gelombang (Watt)

A : Luas permukaan yang terkena energi (m²)

Fenomena ini mencerminkan keteraturan alam yang telah Allah ciptakan dengan sempurna. Sebagaimana firman-Nya dalam surah Fussilat ayat 53:

سَنُرِيهِمْ أَيْتَنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنْفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ أَوْ لَمْ
يَكُفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ

Artinya : "Kami akan memperlihatkan kepada tanda-tanda (kebesaran) Kami di segenap penjuru dan pada diri sendiri sehingga jelaslah bagi bahwa (Al-Qur'an) itu adalah benar. Tidak cukupkah (bagi kamu) bahwa sesungguhnya Tuhanmu menjadi saksi atas segala sesuatu." (QS. Fussilat: 53)

Menurut Quraish Shihab (2012), Ayat ini mengingatkan bahwa tanda-tanda kebesaran Allah dapat ditemukan dalam fenomena alam, termasuk bagaimana bunyi merambat.

c. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi hanya dapat merambat melalui medium seperti gas, cairan , dan padatan, tetapi tidak dapat merambat diruang hampa. Kecepatan rambat bunyi dipengaruhi oleh jenis medium dan suhunya. Bunyi

merambat lebih cepat dalam zat padat dibandingkan dalam zat cair dan lebih cepat dalam zat cair dibandingkan dalam gas, karena kerapatan dan elastisitas medium berberan dalam proses perambatan (Tipler, 2006).

Dalam udara pada suhu $20^{\circ}C$, laju rambat bunyi sekitar 343 m/s , sedangkan dalam air 1440 m/s , dan dalam bahan padat seperti alumunium bisa mencapai 5100 m/s . Semakin tinggi shu medium, semakin cepat rambat bunyi di udara yag bergantung pada suhu dinyatakan sebagai:

$$v = (331 + 0,6 T) \text{ m/s}$$

Dengan T adalah suhu dalam derajat celcius. Hal ini menjelaskan mengapa suara terdengar lebih cepat di udara panas dibandingkan di udara dingin (Abdullah, 2017).

Tabel 2. 2 Laju rambat bunyi pada suhu $20^{\circ}C$

Material	Laju rambat bunyi (m/s)
Udara	343
Udara ($0^{\circ} C$)	331
Helium	1005
Air	1440
Air laut	1560
Besi dan baja	5000
Glass	4500
Alumunium	5100
Kayu keras	4000

Salah satu aspek fundamental yang perlu dipahami dalam studi gelombang bunyi adalah cepat rambat bunyi, yang dapat diukur dan dihitung menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$v = f\lambda$$

(2.3)

Keterangan :

v = cepat rambat gelombang bunyi (m/s)

f = frekuensi gelombang bunyi (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

T = periode (s)

Setelah mengetahui karakteristik umum gelombang bunyi dan bagaimana bunyi terbentuk dan merambat melalui berbagai medium, penting untuk menggali lebih dalam mengenai pengaruh sifat fisik dari medium itu sendiri. Kecepatan suara tidaklah konstan, kecepatan suara sangat bergantung pada jenis medium yang dilalui, baik itu padat, cair, atau gas. Dengan demikian mari kita telaah lebih lanjut bagaimana hubungan antara modulus elastis, massa jenis, dan kecepatan suara berperan dalam setiap jenis medium, memberikan wawasan lebih lengkap mengenai fenomena akustik ini (Tipler, 2006).

1) Zat Padat

Hubungan antara kecepatan suara dalam zat padat dengan modulus elastisnya dan massa

jenisnya. Modulus elastis mengukur kekakuan material, sedangkan massa jenis mengukur kepadatannya. Semakin tinggi elastisitas dan semakin rendah massa jenis, semakin cepat kecepatan suara dalam zat padat (Abdullah, 2017).

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

Keterangan:

v = cepat rambat gelombang bunyi (m/s)

E = modulus elastis zat padat (N/m^2)

ρ = massa jenis zat padat (kg/m^3)

2) Zat Cair

Modulus bulk menunjukkan ketahanan zat cair terhadap kompresi. Semakin besar modulus bulk dan semakin kecil massa jenisnya, maka kecepatan suara dalam zat cair akan semakin tinggi (Abdullah, 2017). Kecepatan suara dalam zat cair di pengaruhi oleh modulus bulk dan massa jenis medium, yang dirumuskan dalam persamaan 2.6 sebagai berikut :

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

Keterangan :

v = cepat rambat gelombang bunyi (m/s)

B = modulus bulk zat cair (N/m²)

ρ = massa jenis zat padat (kg/m³)

3) Zat Gas

Konstanta laplace (γ) adalah perbandingan antara kapasitas panas spesifik pada tekanan konstan (C_p) dan volume konstan (C_v). Semakin tinggi tekanan dan semakin kecil massa jenis gas, semakin cepat rambat bunyinya (Abdullah, 2017).

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

(2.6)

Keterangan :

v = cepat rambat gelombang bunyi (m/s)

γ = konstanta laplace

R = konstanta gas umum (J/mol K)

T = suhu gas (K)

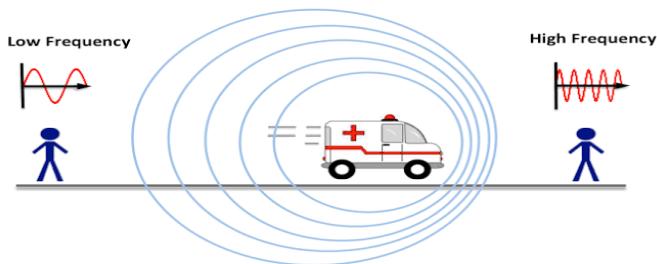
M = massa molekul relatif gas

d. Efek Doppler

Efek doppler terjadi akibat perbedaan kecepatan antara sumber bunyi dan pendekripsi, menyebabkan perubahan frekuensi yang di dengar. Ketika keduanya mendekat, frekuensi meningkat, sedangkan saat

menjauh, frekuensi menurun. Fenomena ini pertama kali dijelaskan oleh Johan Christian Doppler dan diuji oleh Buys Ballot pada 1845 dengan menggunakan lokomotif dan beberapa terompet. Selain bunyi, efek ini juga berlaku untuk gelombang elektromagnetik seperti cahaya dan radio (Halliday et al., 2010).

Dalam kehidupan sehari-hari, efek doppler dapat diamati pada suara sirene mobil polisi. Jika mobil diam, frekuensi sirene terdengar konstan. Namun saat bergerak mendekati pendengar, frekuensinya meningkat, dan ketika menjauh, frekuensinya menurun. Sebagai contoh jika mobil dengan kecepatan 75 km/jam memiliki sirini 1000 Hz, seseorang akan mendengar frekuensi 1096 Hz saat mobil mendekat dan 904 Hz saat mobil menjauh (Halliday et al., 2010, p.35).



Gambar 2. 3 Efek Doppler
Jika pendengar dan sumber bunyi saling mendekati, nada terdengar lebih tinggi. Jika saling menjauhi, nada

terdengar lebih rendah dibanding saat keduanya diam.

Maka, diperoleh persamaan 2.7 berikut:

$$f' = f \left(\frac{v + v_p}{v - v_s} \right) \quad (2.7)$$

Keterangan :

v_p = kecepatan pendengar (positif jika mendekati sumber (m/s)

v_s =kecepatan sumber (positif jika menjauhi pendengar)(m/s)

v = kecepatan bunyi di medium (m/s)

f =frekuensi asli dari sumber bunyi (Hz)

f' =frekuensi yang didengar oleh pendengar (Hz)
tanda (+) dan (-) pada rumus digunakan jika sumber mendekati atau menjauhi pendengar. Gunakan (+) di atas dan (-) di bawah jika sumber mendekati pendengar. Begitu juga sebaliknya, gunakan (-) di atas dan (+) dibawah, jika sumber menjauhi pendengar (Abdullah, 2017).

B. Kajian Penelitian yang Relavan

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini menunjukkan temuan yang penting. Hasil penelitian oleh Pramesti (2020) mengungkapkan bahwa penggunaan strategi pembelajaran pada kelas eksperimen mampu

meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah dan hasil belajar siswa secara signifikan dibandingkan dengan kelas kontrol. Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kelas. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan strategi pembelajaran inovatif dapat meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah siswa.

Persamaan antara penelitian Pramesti dan peneliti terletak pada fokus peningkatan kemampuan komunikasi ilmiah siswa melalui intervensi pembelajaran. Perbedaannya, penelitian Pramesti menggunakan strategi pembelajaran tanpa media berbasis TPACK, sedangkan peneliti mengembangkan e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* yang diterapkan secara khusus pada materi gelombang bunyi (Pramesti et al., 2020).

Hasil penelitian oleh Yuniandriyani (2022) juga menemukan bahwa penggunaan e-modul berbasis TPACK berpengaruh positif terhadap peningkatan hasil belajar siswa. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa penerapan e-modul dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran secara signifikan. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa e-modul berbasis TPACK efektif digunakan dalam proses pembelajaran.

Persamaan antara penelitian Yuniandriyani dan peneliti terletak pada pemanfaatan e-modul berbasis TPACK untuk mendukung peningkatan hasil belajar. Perbedaannya, penelitian Yuniandriyani berfokus pada hasil belajar secara umum, sedangkan peneliti mengembangkan e-modul TPACK yang terintegrasi dengan keterampilan komunikasi ilmiah serta menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* sebagai media interaktif (Yuniandriyani, 2022).

Hasil penelitian oleh Rizal (2021) melaporkan bahwa e-modul yang dikembangkan dinyatakan valid dan praktis berdasarkan hasil validasi ahli. Modul tersebut juga efektif dalam meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah dan minat belajar siswa kelas VII. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa e-modul memiliki potensi kuat dalam meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah siswa.

Persamaan antara penelitian Rizal dan peneliti terletak pada tujuan meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah menggunakan e-modul. Perbedaannya, Rizal menggunakan pendekatan umum dalam pengembangan e-modul, sementara peneliti secara khusus mengintegrasikan pendekatan TPACK dan teknologi digital interaktif (*Heyzine*) pada materi gelombang bunyi (Rizal, 2021).

Hasil penelitian oleh Rayyan (2022) menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan dinilai sangat layak digunakan dari aspek materi dan media berdasarkan penilaian para ahli. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa e-modul memiliki kelayakan tinggi sebagai media pembelajaran.

Persamaan antara penelitian Rayyan dan peneliti terletak pada pengembangan e-modul sebagai media pembelajaran. Perbedaannya, Rayyan hanya menekankan aspek kelayakan, sedangkan peneliti tidak hanya mengkaji kelayakan, tetapi juga efektivitas terhadap keterampilan komunikasi ilmiah, penggunaan pendekatan TPACK, dan pemanfaatan *Heyzine Flipbook Maker* (Rayyan, 2022).

Hasil penelitian oleh Nafiah (2023) menyoroti bahwa penggunaan aplikasi Heyzine dalam pembelajaran berperan penting dalam pengembangan bahan ajar digital yang interaktif. Aplikasi ini mempermudah guru dalam menyusun media yang menarik dan mudah diakses, serta berkontribusi positif terhadap kualitas pembelajaran. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa aplikasi *Heyzine* efektif digunakan dalam penyusunan media pembelajaran digital.

Persamaan antara penelitian Nafiah dan peneliti terletak pada pemanfaatan aplikasi *Heyzine* dalam pengembangan media pembelajaran. Perbedaannya, Nafiah

hanya meninjau peran *Heyzine* secara umum, sedangkan peneliti mengintegrasikannya ke dalam e-modul berbasis TPACK yang dirancang khusus untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah dalam materi gelombang bunyi (Nafiah, 2023).

Persamaan antara penelitian ini dan studi sebelumnya terletak pada tujuan meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa melalui penggunaan inovasi dalam pembelajaran. Namun, perbedaan utama antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya adalah fokus pada pendekatan pengembangan yang digunakan, di mana penelitian ini lebih menekankan pada e-modul berbasis TPACK dengan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada materi gelombang bunyi. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam integrasi pendekatan TPACK, pemanfaatan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*, dan fokus pada peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dalam materi gelombang bunyi yang belum pernah dikaji secara bersamaan dalam penelitian sebelumnya.

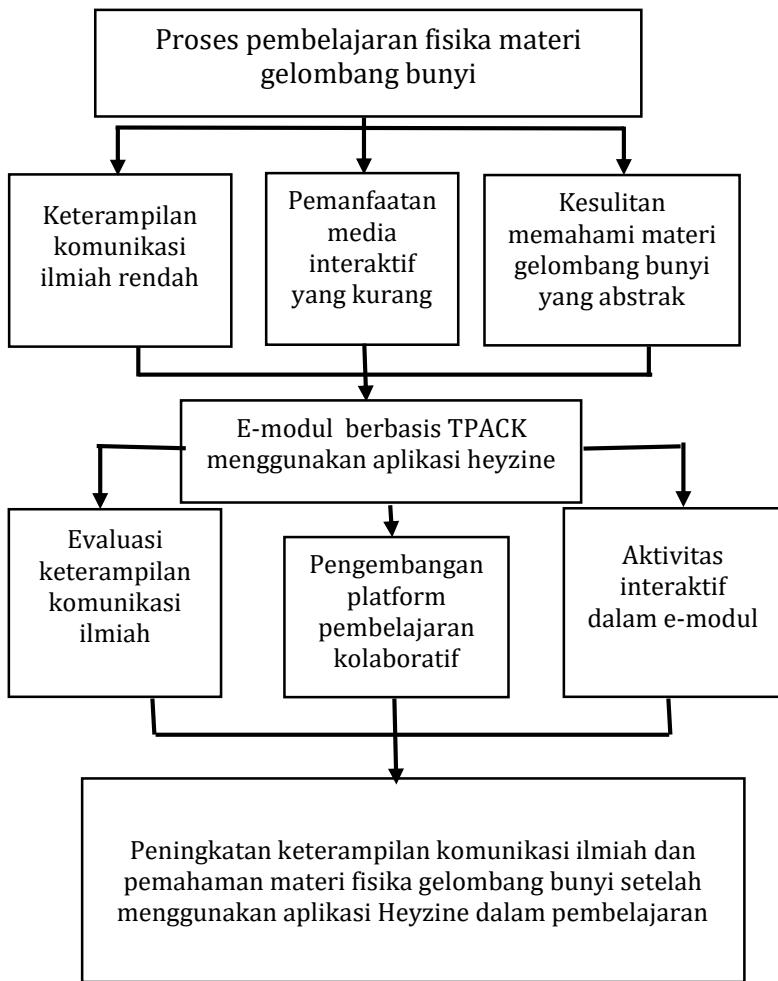
C. Kerangka Berpikir

Proses pembelajaran fisika, terutama pada materi gelombang bunyi, sering menghadapi beberapa permasalahan. Keterampilan komunikasi ilmiah siswa masih tergolong rendah, pemanfaatan media interaktif

belum optimal, dan siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep materi yang bersifat abstrak. Kondisi ini mengakibatkan proses belajar mengajar menjadi kurang efektif dan menarik bagi siswa.

Cara mengatasi masalah tersebut, e-modul berbasis TPACK dikembangkan menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. E-modul ini dirancang untuk menyajikan materi gelombang bunyi secara menarik dan interaktif. Melalui e-modul ini, e-evaluasi keterampilan komunikasi ilmiah siswa juga dilakukan. Selain itu, e-modul ini memfasilitasi interaksi antar siswa, sehingga lebih aktif dalam memahami materi.

Penerapan e-modul berbasis TPACK dengan aplikasi heyzine diharapkan dapat meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dan mempermudah pemahaman materi fisika gelombang bunyi. Dengan demikian, proses pembelajaran diharapkan menjadi lebih efektif dan bermakna bagi siswa.



Bagan 2.4 Bagan kerangka berpikir

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Model Pengembangan

Penelitian ini merupakan penelitian *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE (*Analysis, Design, Develop, Implementation, and Evaluation*). Penelitian pengembangan adalah metode penelitian yang dilakukan secara sistematis untuk menciptakan produk baru yang lebih efektif, efesien, dan bermakna (Okpatrioka, 2023).

Fokus utama penelitian ini adalah pengembangan bahan ajar berbasis TPACK untuk materi gelombang bunyi bagi siswa kelas XI SMA. Produk yang dikembangkan bertujuan untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Dengan pendekatan ini, diharapkan siswa dapat lebih aktif dalam mengomunikasikan konsep fisika secara ilmiah dan mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap materi gelombang bunyi.

B. Prosedur Pengembangan

Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian adalah ADDIE, yang terdiri dari lima tahap: *Analysis, Design, Develop, Implementation ,and Evaluation* (Rayanto & Sugianti, 2020). Model ini dipilih karena

memiliki struktur yang sistematis dan mampu mengatasi permasalahan dalam pembelajaran, terutama yang berkaitan dengan media pembelajaran. Selain itu ADDIE sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan siswa dalam proses belajar.

Tahapan dalam model ADDIE kemudian diadaptasi sebagai prosedur utama dalam pengembangan media pembelajaran. Pendekatan ini memastikan setiap tahap berjalan terstruktur agar media yang dihasilkan efektif (Branch, 2009).

Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai masing masing tahap dalam model ADDIE:

1. *Analysis* (analisis)

Tahap analisis diawali dengan observasi dan wawancara prariset untuk mengidentifikasi kebutuhan siswa kelas XI dalam pembelajaran, khususnya terkait media belajar materi gelombang bunyi. Analisis ini mencakup sejauh mana siswa memahami konsep fisika dan faktor-faktor yang memengaruhi pemahaman . Informasi yang diperoleh menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan pengembangan media (Rayanto & Sugianti, 2020).

Selain itu, wawancara dengan guru fisika dilakukan untuk memahami urgensi penggunaan media pembelajaran dalam meningkatkan efektivitas belajar

siswa. Dengan pendekatan ini, materi dan perangkat pendukung yang relevan dapat disusun agar media pembelajaran lebih sesuai dengan kebutuhan siswa.

2. Design (Desain)

Desain adalah proses perancangan Kegiatan yang dilakukan sebelum proses pembuatan bertujuan untuk merancang produk yang akan dikembangkan sebelum dilakukan pengujian (Rayanto & Sugianti, 2020).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat merancang pengembangan, antara lain seperti mengumpulkan rujukan mengenai produk yang dikembangkan, membuat desain, dan mengumpulkan bahan grafis yang sesuai dengan materi dan karakteristik siswa kelas XI SMA. penelitian ini merincikan perencanaan produk yang diterapkan, diantaranya sebagai berikut:

- a. Sumber rujukan untuk materi gelombang bunyi diambil dari buku fisika karya Giancoli/ Halliday dan buku fisika kelas XI SMA.
- b. Penataan materi dibuat dengan Microsoft Word. pembuatan e-modul dilakukan dengan bantuan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*.

3. Develop (Pengembangan)

Tahap *development* merupakan proses merealisasikan desain e-modul berbasis TPACK menjadi

produk yang siap digunakan. Proses ini mencakup validasi oleh ahli, revisi berdasarkan masukan dan uji coba skala kecil dan besar. Validasi dilakukan oleh para ahli untuk menilai aspek materi, desain, bahasa, dan keterampilan komunikasi ilmiah, guna memastikan kelayakan e-modul sebelum diterapkan dalam pembelajaran. Pengujian keterbacaan dilakukan untuk menilai apakah bahasa yang digunakan dalam buku ajar dapat dipahami oleh siswa dan memudahkan memahami isinya (Branch, 2009).

Setelah validasi, produk direvisi sesuai saran ahli, kemudian di uji coba dalam skala kecil dengan melibatkan sejumlah siswa kelas XI. Hasil uji coba ini dianalisis untuk mengetahui efektivitas awal e-modul dan menentukan perbaikan yang diperlukan sebelum diterapkan lebih luas. Uji coba skala besar dilakukan dengan pembelajaran nyata, di mana siswa diberikan *pretest* sebelum menggunakan e-modul dan *posttest* setelahnya. Penjabaran keterampilan keterampilan komunikasi ilmiah dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tahap pengembangan

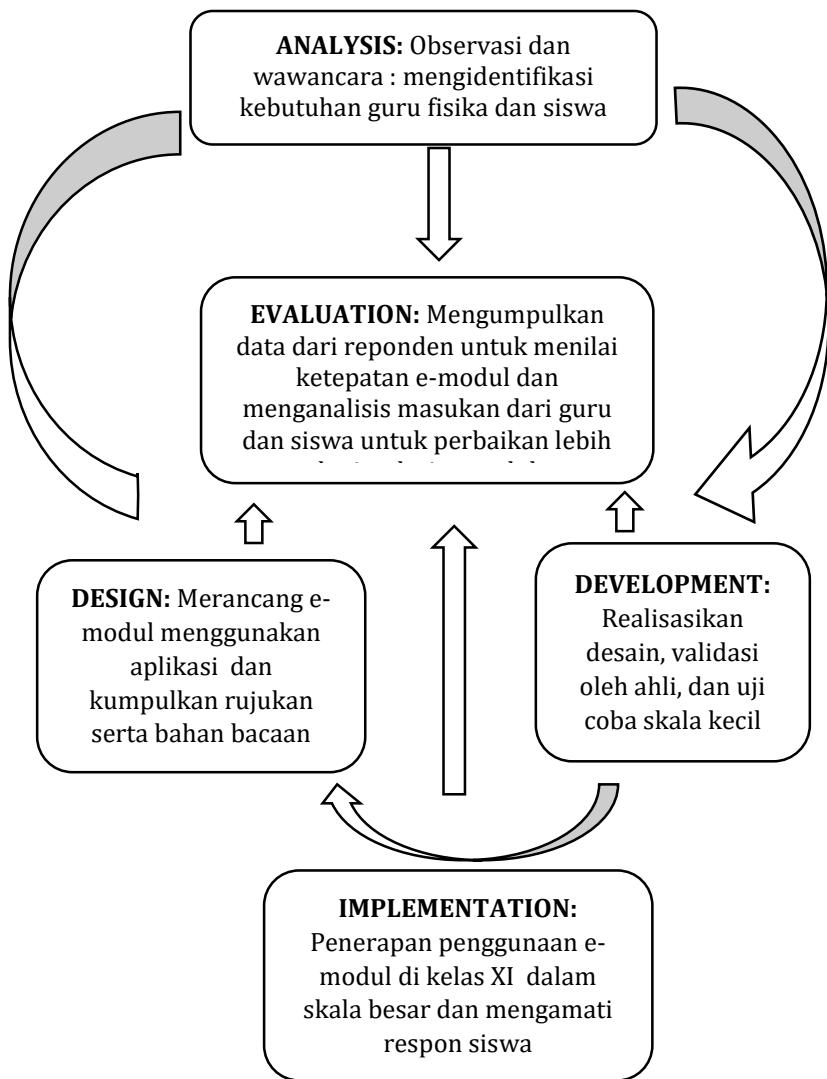
Indikator keterampilan	Bentuk dalam e-modul	TPACK yang terlibat
Pencarian informasi	Siswa diberi link atau arahan ke sumber tambahan (e-jurnal, video ilmiah, artikel popular) untuk memperkuat argument mereka dalam tugas	- CK (<i>Content Knowledge</i>): memilih topic yang relevan - TK (<i>Teknological Konten</i>): menyediakan akses ke sumber digital - PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): memberi arahan pencarian sumber
Membaca ilmiah	Diberi teks bacaan ilmiah singkat (misalnya teks eksplanasi atau artikel popular) lalu menjawab pertanyaan analisis atau membuat ringkasan	- CK (<i>Content Knowledge</i>): memilih bacaan yang sesuai tingkat siswa - PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): strategi membaca kritis - TK (<i>Teknological Konten</i>): menyematkan teks interaktif di flipbook heyzine
Mendengar dan mengamati	Menonton video percobaan →siswa mencatat hasil pengamatan dan menjawab pertanyaan analisis	- TK (<i>Teknological Konten</i>): menyiapkan video eksperimen/interaktif - PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): melatih observasi sistematis - CK (<i>Content Knowledge</i>): konteks konsep(misalnya resonansi atau pemantulan bunyi)
Menulis ilmiah	Tugas membuat ringkasan materi, laporan sederhana dari hasil pengamatan dan menjawab pertanyaan terbuka	- PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): melatih penulisan terstruktur - CK (<i>Content Knowledge</i>): memberi pedoman format penulisan - TK (<i>Teknological Konten</i>): form isian interaktif atau upload tugas di platform
Representasi informasi	Siswa diminta mengubah data hasil percobaan ke bentuk grakfik, table, atau infografis	- CK (<i>Content Knowledge</i>): memberi data mentah atau hasil eksperimen - PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): latihan interpretasi data - TK (<i>Teknological Konten</i>): fitur interaktif untuk menyiapkan atau mengunggah grafik
Presentasi pengetahuan	Siswa diberi tugas membuat presentasi dari hasil pengamatan atau simpulan materi, bisa lisan atau video	- PK (<i>Pedagogical Knowledge</i>): pembelajaran berbasis presentasi - TK (<i>Teknological Konten</i>): menggunakan media seperti power point, canva atau flipbook - CK (<i>Content Knowledge</i>): materi gelombang bunyi yang mereka presentasikan

4. Implement (Implementasi)

Tahap implemantasi merupakan penerapan e-modul berbasis TPACK yang telah dikembangkan. Penerapan dilakukan di kelas XI sesuai lokasi yang telah ditentukan. Pada tahap ini, e-modul digunakan dalam pembelajaran untuk melihat bagaimana siswa merespon dan menguji efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah. Evaluasi awal dilakukan melalui pengamatan langsung selama penggunaan e-modul. Masukan dari guru dan siswa menjadi acuan untuk melihat aspek yang perlu diperbaiki sebelum tahap evaluasi akhir (Pribadi, 2014).

5. Evaluate (Evaluasi)

Tahap evaluasi merupakan tahap terakhir dalam pengembangan e-modul fisika berbasis TPACK. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui apersepsi pengguna terhadap produk berdasarkan data hasil penilaian responden. Data yang diperoleh akan dianalisis sesuai dengan kriteria-kriteria yang telah ditetapkan. Penilaian responden berupa saran terhadap produk media pembelajaran sangat dibutuhkan sebagai bahan revisi media pembelajaran (Pribadi, 2014). Visualisasi tahapan penelitian yang mengadopsi model pengembangan ADDIE dapat dilihat pada gambar 3.2.



Bagan 3.1 Prosedur pengembangan produk

C. Desain Uji Coba Produk

1. Desain Uji Coba

Media pembelajaran yang dikembangkan harus melalui tahap pengujian untuk mengetahui kelayakan dan kualitasnya. Pengujian tersebut merupakan bagian dari proses validasi dan evaluasi. Pengembang mengonsultasikan dan memvalidasi e-modul kepada dua ahli. Pengujian dilakukan kepada subjek coba yang telah ditentukan sesuai prosedur (Sugiyono, 2013). Tahapan dalam uji coba produk, meliputi:

a. Uji Validitas

Pengujian validitas dilakukan oleh para ahli untuk menilai kualitas e-modul yang telah dikembangkan mencakup aspek bahasa, materi, dan karakteristik media (Sugiyono, 2013). Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa e-modul layak digunakan dalam pembelajaran (Hidayat, 2021).

b. Uji Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa

Uji keterampilan komunikasi ilmiah siswa dilakukan untuk mengukur peningkatan kemampuan siswa dalam berdiskusi dan menyampaikan hasil penelitian setelah penggunaan e-modul (Pratama, 2024). Uji ini melibatkan pre-test dan post-test yang

dilaksanakan sebelum dan sesudah pembelajaran menggunakan e-modul, dengan tujuan untuk menyediakan data yang dapat dibandingkan (Bohori, 2024). Data yang diperoleh dari uji ini akan dianalisis secara statistik untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara skor pre-test dan post test, sehingga dapat mengetahui efektivitas e-modul dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa.

c. Persepsi Siswa

Persepsi siswa dilakukan untuk mengetahui tanggapan siswa terhadap penggunaan e-modul pembelajaran berbasis TPACK menggunakan aplikasi heyzine implementasi e-modul pada materi gelombang bunyi. Persepsi siswa ini memberikan wawasan tentang cara siswa mempersepsikan e-modul dalam proses pembelajaran. Sama halnya dengan uji keterampilan komunikasi ilmiah, persepsi siswa ini juga dilakukan oleh siswa sebagai pertisipan.

2. Subjek Uji Coba

a. Populasi

Populasi merupakan keseluruhan data yang menjadi perhatian peneliti dalam ruang lingkup dan waktu yang ditentukan (Sumargo,

2020). Dalam penelitian ini, populasi yang diamati adalah siswa kelas XI IPA SMAN 1 Jogorogo Ngawi, yang terdiri dari kelas XI IPA A, XI IPA B, dan XI IPA C dengan total jumlah siswa sebanyak 90 siswa.

b. Sampel

Sampel merupakan bagian dari populasi yang mewakili jumlah dan karakteristik tertentu (Purwoko, 2016). Penelitian ini menggunakan teknik sampling jenuh dalam proses pengambilan sampel (Sumargo, 2020). Menurut Sugiyono (2023), Sampling jenuh adalah teknik penentuan sampel yang melibatkan seluruh anggota populasi sebagai sampel penelitian.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dalam dua tahap. Uji skala kecil dilaksanakan di kelas XI IPA C (kelas uji coba), yang terdiri dari 30 siswa. Sedangkan uji skala besar dilaksanakan di kelas XI IPA A (kelas eksperimen) dan kelas XI IPA B (kelas kontrol), di mana masing-masing kelas juga terdiri dari 30 siswa. Dengan demikian, total partisipasi dalam penelitian ini adalah 90 siswa, terdiri dari 30 siswa di kelas XI IPA C, dan 60 siswa di kelas XI IPA A dan XI IPA B yang menjadi kelompok eksperimen dan kontrol.

D. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

1. Tes

Tes ini digunakan untuk mengukur keterampilan komunikasi ilmiah siswa pada materi gelombang bunyi setelah penerapan e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. Proses ini dimulai dengan *pretest* untuk menilai pemahaman awal siswa dan menguji homogenitas kelompok, diikuti oleh *posttest* untuk mengetahui perubahan keterampilan komunikasi ilmiah siswa setelah penggunaan media (Ramadhan, 2021).

Dalam penelitian ini, tes terdiri dari 6 soal esai yang dirancang untuk menilai kemampuan siswa dalam memahami dan mengomunikasikan konsep fisika. Soal-soal ini mencangkup beberapa aspek keterampilan komunikasi ilmiah, yaitu kemampuan membaca ilmiah, kemampuan menulis ilmiah, pencarian informasi, mendengar dan mengamati, representasi informasi dan kemampuan presentasi pengetahuan.

Setiap soal mendorong siswa untuk menginterpretasikan informasi, menyusun jawaban secara logis dan ilmiah dan menyampaikan pemahaman seperti diskusi.dengan pendekatan ini, hasil tes diharapkan mencerminkan peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa setelah menerapkan e-modul.

Penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data yang disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2Teknik Pengumpulan Data

Sumber Data	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data	Instrumen
Kelas XI IPA C	Hasil validasi soal dan hasil survei pendahuluan kepada siswa.	Tes dan angket	20 soal uji coba dan lembar angket
Kelas eksperimen (kelas XI IPA A) dan kelas kontrol (kelas XI IPA B)	Hasil belajar siswa sebelum diberi perlakuan.	Tes awal (<i>Pretest</i>)	6 butir soal kemampuan komunikasi ilmiah essay
Kelas eksperimen (kelas XI IPA A) dan kelas kontrol (kelas XI IPA B)	Hasil belajar siswa setelah diberi perlakuan. Kelas eksperimen menggunakan e-modul pembelajaran berbasis TPACK menggunakan aplikasi Heyzine, kelas kontrol menggunakan buku pembelajaran	Tes Akhir (<i>Posttest</i>)	6 butir soal kemampuan komunikasi ilmiah essay

2. Angket

Angket yang digunakan terdiri atas dua bagian, yaitu angket validasi ahli dan angket persepsi siswa. Angket validasi ahli mengevaluasi kelayakan materi gelombang bunyi dan media pembelajaran e-modul berbasis TPACK yang menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. Instrumen validasi ini mencakup tiga aspek penilaian, yaitu kelayakan isi, relevansi materi, dan kualitas media. Pengukuran penilaian, menggunakan skala likert dengan lima point, yang berkisar dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju (Sugiyono, 2013). Pengumpulan data bertujuan memastikan bahwa produk yang dikembangkan telah

memenuhi standar kualitas dan layak digunakan sebagai media pembelajaran (Ramadhan, 2021).

Angket persepsi siswa mengumpulkan informasi mengenai tanggapan siswa terhadap media pembelajaran e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada materi gelombang bunyi. Angket terdiri atas 11 pernyataan yang disusun menggunakan skala Likert dengan rentang penilaian dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju.

E. Teknik Analisis Data

Data perlu dianalisis lebih mendalam untuk memperoleh kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Data yang diperoleh berupa skor yang merepresentasikan katagori kualitas media pembelajaran berdasarkan hasil penilaian kelayakan oleh ahli materi dan ahli media (Zakariah, Afriani, & Zakariah, 2020).

1. Analisis Pendahuluan

a. Analisis Butir Soal

1) Uji Validitas

Penelitian dikatakan valid apabila data yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan data asli pada objek yang di teliti. Uji validitas

instrumen tes bertujuan untuk menilai keandalan instrumen yang digunakan (Sugiyono, 2013). Dalam penelitian ini, uji validitas dilakukan menggunakan model *Rasch* yang dibantu dengan *Software Ministep*. Uji validitas berdasarkan model Rasch harus mempertimbangkan beberapa nilai, yaitu *outfit means-square (MNSQ)*, *outfit z-standard (ZSTD)*, dan *point measure correlation (Pt Mean Corr)*. Kriteria untuk instrumen tes dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kriteria Validitas Instrumen

Kriteria	Keterangan
$0,5 < MNSQ < 1,5$	Nilai <i>MNSQ</i> diterima
$-0,2 < ZSTD < +0,2$	Nilai <i>ZSTD</i> diterima
$0,4 < Pt\ Mean\ Corr < 0,85$	Nilai <i>Pt Mean Corr</i> diterima

(Sumintono dan Widhiarso, 2015)

Keterangan:

MNSQ (Mean Square): Rata-rata

ZSTD (Z-Standard): Standar soal dengan *Rasch Model*

Pt Measure Corr: Perbandingan soal

Instrumen tes dikatakan valid jika memenuhi paling tidak dua kriteria Tabel 3.2 (Sumintono dan Widhiarso, 2015).

2) Uji Reliabilitas

Reliabilitas digunakan untuk menilai kesamaan antara objek yang diukur dan konsistensi data yang dihasilkan (Sugiyono, 2013). Selain itu, reliabilitas juga berfungsi untuk menentukan apakah instrumen tes yang digunakan telah memenuhi kriteria yang ditetapkan (Arikunto, 2013). Penelitian ini menggunakan model Rasch untuk menguji reliabilitas, dengan bantuan *software Ministep*, yang difokuskan pada *person reliability*, *item reliability*, dan nilai *Cronbach's alpha* (Tjalla et al., 2023). *person reability* menunjukkan keseriusan siswa dalam menjawab, apakah menjawab dengan sungguh-sungguh atau hanya menebak. *item reability* mencerminkan seberapa berkualitas setiap butir soal yang diuji. Sementara itu, *Cronbach's alpha* menunjukkan konsistensi antara jawaban siswa dan pernyataan dalam soal dalam keseluruhan. Instrumen tes dianggap reliabel jika memenuhi kriteria yang ditampilkan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3. 4 Kriteria Reliabilitas Model Rasch

Nilai Reliabilitas	Kategori
$0,94 \leq Nilai$	Istimewa
$0,91 \leq Nilai < 0,94$	Bagus Sekali
$0,81 \leq Nilai < 0,90$	Bagus
$0,67 \leq Nilai < 0,80$	Cukup
$Nilai < 0,67$	Lemah

(Sumintono dan Widhiarso, 2015)

Tabel 3. 5 Krteria Nilai Cronbach Alpha

Nilai <i>Cronbach Alpha</i>	Kategori
$0,8 \leq \alpha$	Bagus Sekali
$0,7 \leq \alpha < 0,8$	Bagus
$0,6 \leq \alpha < 0,7$	Cukup
$0,5 \leq \alpha < 0,6$	Jelek
$\alpha < 0,5$	Buruk

(Sumintono dan Widhiarso, 2015)

3) Daya Beda Soal

Daya beda soal menunjukkan kemampuan suatu butir soal dalam membedakan siswa berkemampuan tinggi dan siswa berkemampuan rendah. Model yang digunakan untuk uji daya beda adalah model *Rasch* yang dibantu oleh *software Ministep*. Pemodelan uji daya beda dengan menggunakan model Rasch penting untuk menentukan seberapa mampu siswa dalam menjawab soal (Suseno & Susongko, 2021). Daya beda soal dapat dianalisis menggunakan hasil *PT Measure*

Corr dan tabel *Item* (Sumintono dan Widhiarso, 2015).

4) Tingkat Kesukaran Soal

Tingkat kesukaran soal adalah ukuran yang menunjukkan seberapa mudah atau sulit soal bagi siswa. Soal yang berkualitas seharusnya memiliki tingkat kesukaran yang bervariasi untuk mengukur kemampuan siswa dengan efektif (Arikunto, 2013). Uji tingkat kesukaran soal dilakukan menggunakan model Rasch dengan bantuan software *Ministep* (Suseno & Susongko, 2021). Pengukuran dalam logit dan nilai Simpangan Baku (SD) logit item digunakan untuk menentukan tingkat kesulitan setiap butir soal. Terdapat lima kategori yang menunjukkan tingkat kesulitan butir soal, yang dapat dilihat dalam tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Kriteria Tingkat Kesukaran Soal

Nilai Measure (logit)	Kategori
$Measure \ logit < -SD \ logit$	Item sangat mudah
$-SD \ logit \leq Measure \ logit < 0$	Item mudah
$0 \leq Measure \ logit < SD \ logit$	Item sulit
$Measure \ logit > SD \ logit$	Item sangat sulit

(Sumintono dan Widhiarso, 2015)

2. Analisis Lanjutan

a. Analisis Awal Data Penelitian

1) Uji Normalitas

Uji normalitas menurut Sholihah, (2020), adalah metode untuk menguji apakah distribusi data bersifat normal. Tujuan uji ini adalah untuk menentukan apakah data *pretest* dan *posttest* yang diambil dari sampel berdistribusi normal (Sholihah, 2020). Dalam penelitian ini, uji normalitas dilakukan terhadap nilai *posttest* dan *posttest* menggunakan SPSS 27 dengan metode *Shapiro-Wilk* (Sugiyono, 2013). Berdasarkan pendapat Prayitno dalam Muhni (2017: 17), data dianggap berdistribusi normal apabila nilai signifikansi lebih dari 0,05, sedangkan jika nilai signifikansi kurang dari 0,05, data dianggap tidak berdistribusi normal.

2) Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah metode statistik yang digunakan untuk menentukan apakah dua atau lebih kelompok data memiliki varians yang sama. uji ini penting dalam penelitian untuk memastikan bahwa kelompok yang dibandingkan memiliki karakteristik yang

serupa, sehingga hasil analisis dapat diinterpretasikan secara akurat (Suseno & Susongko, 2021). Menurut Sugiyono (2013), uji homogenitas, seperti Uji Levene, digunakan sebelum analisis varians (ANOVA) untuk mengecek kesamaan varians antar kelompok. Jika nilai signifikansi dari Uji Levene lebih dari 0,05, varians dianggap homogen, jika kurang dari 0,05, varians dianggap tidak homogen (Sugiyono, 2013).

3) Analisis Kelayakan E-Modul

Data kuantitatif yang dianalisis ini meliputi hasil angket yang diisi oleh guru dan ahli fisika dan data kuesioner dari tanggapan siswa, dengan pengukuran penilaian menggunakan skala likert dengan lima point, yang berkisar dari sangat tidak layak hingga sangat layak.

Tabel 3. 7 Kriteria Kelayakan Media
dan Soal Tes

Persentase kelayakan	Interpretasi
$81\% < NP \leq 100\%$	Sangat Layak (SL)
$61\% < NP \leq 80\%$	Layak (L)
$41\% < NP \leq 60\%$	Cukup Layak (CL)
$21\% < NP \leq 40\%$	Kurang Layak (KL)
$0\% NP 20\%$	Tidak Layak (TL)

(Riduwan, 2009)

Menghitung rata-rata skor tiap butir yang dinilai merupakan langkah yang harus dilakukan untuk menganalisis kualitas produk. Perhitungan tersebut dapat dilakukan melalui persamaan 3.1.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.1)$$

Skor rata-rata kemudian dikonversi ke dalam bentuk data kualitatif dengan menetapkan interval pada masing-masing kriteria. Penentuan interval setiap kategori dilakukan menggunakan Persamaan 3.2.

$$jarak\ interval(i) = \frac{skor\ tertinggi - skor\ terendah}{Jumlah\ kelas\ interval} \quad (3.2)$$

Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung persentase kelayakan media melalui Persamaan 3.3 (Akbar, 2013).

$$persentase\ kelayakan = \frac{skor\ hasil\ penilaian}{skor\ maksimal\ ideal} \times 100\% \quad (3.3)$$

3. Analisis Akhir

a. Uji Efektivitas

Uji efektivitas bertujuan untuk menilai dampak penerapan e-modul pembelajaran berbasis

TPACK terhadap keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Uji efektivitas dilakukan dengan uji-t sampel bebas (*independent-samples T-test*) (Ramadhani & Bina, 2021). Uji t-test ini bertujuan untuk membandingkan rata-rata nilai pre test dan post test dari kedua kelompok yang menjadi sampel penelitian, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, dengan rumus 3.4 sebagai berikut (Rasul, Subhanudin, dan Sonda, 2022).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$
(3.4)

Keterangan:

\bar{x}_1 = rata-rata skor untuk sampel 1

\bar{x}_2 = rata-rata skor untuk sampel 2

n_1 =simpangan baku sampel 1

n_2 = simpangan baku sampel 2

s_1^2 =varian sampel 1

s_2^2 =varian sampel 2

Jika hasil tidak memenuhi asumsi homogen atau tidak normal, maka bisa digunakan *Uji Mann-Whitney U* yang digunakan untuk mengetahui dan membandingkan hasil dari kedua kelompok, hal ini merupakan Uji Non-Parametrik.

b. Uji N-Gain

Tujuan dilakukannya uji N-Gain adalah untuk mengukur peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa sebelum dan sesudah penerapan e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* dalam pembelajaran fisika materi gelombang bunyi. Peningkatan ini dapat dihitung menggunakan rumus 3.5 yang telah ditentukan:

$$N\text{-Gain} = \frac{Skor Postest - Skor Pretest}{Skor Maksimum Ideal - Skor Pretest} \quad (3.5)$$

Skor gain dapat dikelompokkan menjadi tiga katagori menurut Hake, R. R. (2002) yang dinyatakan dalam tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kriteria Interpretasi Skor Gain

Skor N-Gain	Kriteria
$g < 0,30$	Rendah
$0,30 \leq g \leq 0,70$	Sedang
$g > 0,70$	Tinggi

(Hake, R. R. (2002))

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengembangan Produk Awal

E-modul disusun menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* dan dibagikan melalui tautan (link) agar dapat diakses secara online. Penggunaan platform ini bertujuan untuk mempermudah peserta didik dan pendidik dalam mengakses e-modul tanpa harus mengunduh file berukuran besar, sehingga dapat dibuka dengan praktis melalui *smartphone* atau laptop. Deskripsi tahapan ADDIE disajikan sebagai berikut:

1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Tahap analisis merupakan langkah awal dalam pengembangan e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*. Berdasarkan hasil observasi awal di SMAN 1 Jogorogo, pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi masih didominasi oleh penggunaan LKS dan buku teks tanpa pemanfaatan media interaktif berbasis teknologi. Hal ini berdampak pada rendahnya partisipasi aktif siswa, khususnya dalam membangun pemahaman konsep abstrak, seperti resonansi, frekuensi dan efek Doppler.

2. Tahap Desain (*Design*)

Tahap desain merupakan tahap krusial dalam pengembangan e-modul karena menjadi fondasi struktur dan isi produk yang akan dikembangkan. Desain e-modul ini mengacu pada model TPACK (*Technology Pedagogy Content and Knowledge*) yang dikemukakan oleh Mishra & Koehler (2006), dengan memadukan aspek *content knowledge* (CK), *pedagogy Knowledge* (PK), dan *technology Knowledge* (TK) secara terpadu.

Content Knowledge (CK) diwujudkan dalam penyusunan materi gelombang bunyi berdasarkan materi gelombang bunyi berdasarkan kurikulum dan referensi ilmiah, mencakup submateri seperti sifat gelombang bunyi, cepat rambat, resonansi, intensitas, frekuensi, hingga efek Doppler. Materi disajikan secara sistematis dan kontekstual, didukung oleh gambar dan rumus yang relavan.

Pedagogy Knowledge (PK) ditampilkan melalui kegiatan pembelajaran yang mendorong eksplorasi dan diskusi, di mana siswa dibentuk untuk belajar dan berdiskusi secara berkelompok, mengamati fenomena, dan mengkonstruksi pemahaman bersama. Contohnya pada aktivitas “Kegiatan Praktikum Sederhana”, siswa diminta mengamati dan

menyimpulkan hasil pengamatan kemudian mencatat dan menulis hasil pengamatan melalui diskusi kelompok.

Technology Knowledge (TK) diterapkan melalui pemanfaatan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker*, yang memungkinkan penyajian e-modul dalam bentuk buku digital interaktif. Teknologi ini mendukung penyisipan media seperti video simulasi, audio, gambar, tautan ke eksperimen virtual, dan kuis daring. Penggunaan media ini tidak hanya meningkatkan motivasi belajar, tetapi juga memudahkan siswa agar dapat belajar mandiri secara efektif.

E-modul juga dirancang untuk mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa, yang merupakan bagian penting dari literasi sains dalam pembelajaran abad ke-21. Setiap submateri menyisipkan aktivitas yang mendukung enam indikator komunikasi ilmiah, seperti pencarian informasi melalui sumber ilmiah, latihan membaca teks eksplanasi, pengamatan video percobaan, penulisan laporan ilmiah, representasi data dalam bentuk grafik, dan presentasi hasil eksperimen. Dengan pendekatan ini, diharapkan e-modul tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga

mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa secara aktif dan terstruktur.

Berikut uraian tiap bagian e-modul berbasis TPACK yang dirancang untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa:

- a. Rancangan tampilan awal dan pendahuluan e-modul

Sebagai elemen pembuka, tampilan awal e-modul mencakup beberapa komponen penting. Pertama, cover e-modul dirancang secara visual menarik menggunakan kombinasi warna dan latar belakang yang sesuai dengan tema fisika, khususnya gelombang bunyi. Pada bagian ini tercantum judul e-modul, submateri yang dibahas, nama penyusun dan peruntukan kelas XI. Desain cover disesuaikan dengan karakteristik siswa SMA agar mampu membangkitkan motivasi belajar sejak awal. Rancangan cover dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Cover e-modul

Selanjutnya, pada kata pengantar, penulis menyampaikan ungkapan syukur atas terselesaikannya modul dan harapan agar modul ini dapat digunakan secara optimal oleh guru dan siswa. Penulis juga membuka ruang untuk masukan, kritik, dan saran demi penyempurnaan produk.

Bagian deskripsi e-modul memuat informasi umum mengenai tujuan pengembangan, cakupan materi, sasaran pengguna dan pendekatan pembelajaran yang digunakan. Dalam hal ini, pendekatan TPACK diintegrasikan untuk mendorong pembelajaran interaktif dan meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah. Rancangan kata pengantar dan deskripsi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kata pengantar dan deskripsi

b. Rancangan struktur navigasi e-modul

Penyusun e-modul menyusun daftar isi yang memuat informasi pokok disertai nomor halaman untuk memudahkan pengguna dalam menjelajahi isi e-modul. Rancangan daftar isi dapat dilihat pada Gambar 4.3.

DAFTAR ISI	
KATA PENGANTAR	1
DESKRIPSI E-MODUL	2
DAFTAR ISI	36
PERALATAN	37
PENGABDIAN	37
Penulis Pengembang E-Modul	1
Tujuan Pembelajaran	1
Pembelajaran Berbasis TPACK dalam E-Modul	2
Kompetensi dasar	2
Indikator Kompetensi	2
KEGIATAN BELAJAR 1	
Pendekta	4
Karikatur Bogy	4
Cerita Soal	10
Eksplorasi	12
Rangkuman	14
Macam Soal	17
Tipe Refleksi	17
KEGIATAN BELAJAR 2	
Pendekta	18
Siklus Pembelajaran Bogy	19
Eksplorasi	23
Soal Bogy	26
Aplikasi Pembelajaran Bogy	26
Eksplorasi	27

Gambar 4.3 Daftar isi

Peta konsep ditampilkan secara visual dalam bentuk grafik untuk membantu siswa memahami hubungan antar submateri gelombang bunyi secara menyeluruh. Hal ini memberikan gambaran menyeluruh sebelum siswa masuk ke materi inti. Rancangan peta konsep dapat dilihat pada gambar 4.4.



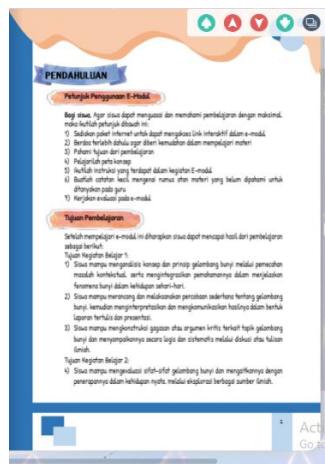
Gambar 4.4 Peta konsep

- c. Rancangan petunjuk teknis dan tujuan penggunaan

Selanjutnya, petunjuk penggunaan disusun untuk memberikan panduan teknis mengenai cara penggunaan e-modul, penjelasan ikon-ikon dan petunjuk akses terhadap video, latihan, dan simulasi. Petunjuk ini sangat penting

agar siswa dapat belajar secara mandiri berbasis teknologi.

Perumusan tujuan pembelajaran didasarkan pada capaian pembelajaran yang tercantum dalam Kurikulum Merdeka dan indikator keterampilan komunikasi ilmiah. Tujuan ini menekankan pada pemahaman konsep fisika dan kemampuan menyampaikan ide secara ilmiah, baik secara lisan maupun tertulis. Kelima tujuan utama pembelajaran dirinci untuk mengarahkan proses belajar ke arah penguasaan konsep, pemecahan masalah, eksperimen dan komunikasi ilmiah. Gambar 4.5 memuat visualisasi tujuan pembelajaran dan petunjuk penggunaan.



Gambar 4.5 Tujuan pembelajaran dan petunjuk penggunaan.

d. Rancangan integrasi pembelajaran berbasis TPACK

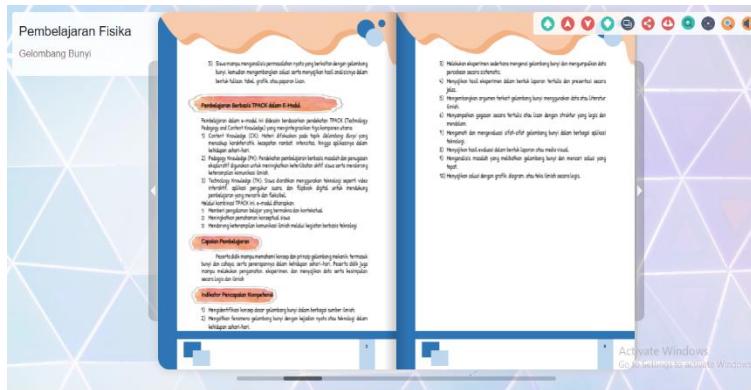
E-modul ini mengadopsi pendekatan TPACK dengan mengintegrasikan tiga domain utama: *Content Knowledge* (CK) berupa materi gelombang bunyi, *Pedagogy Knowledge* (PK) berupa pendekatan saintifik dan aktivitas kelompok dan *Technology Knowledge* (TK) melalui penggunaan flipbook, video, dan simulasi interaktif. Ketiga elemen ini bersatu membentuk desain pembelajaran digital yang terintegrasi dan mendalam, yang mendukung ketercapaian tujuan belajar.

e. Rancangan capaian dan Indikator Pembelajaran

Rancangan ini diawali dengan capaian pembelajaran yang mengacu pada standar isi dalam Kurikulum Merdeka, yaitu penguasaan konsep gelombang bunyi, keterampilan observasi, eksperimen dan komunikasi hasil belajar secara logis dan ilmiah.

Indikator pencapaian kompetensi dirumuskan sebagai acuan operasional tujuan pembelajaran. Indikator tersebut mencerminkan hirarki berpikir siswa dan terintegrasi dengan aspek keterampilan komunikasi ilmiah. Selain itu, indikator ini menjadi dasar dalam penyusunan soal

dan aktivitas siswa. Rancangan indikator ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. capaian dan Indikator Pembelajaran

f. Rancangan Isi Materi E-Modul

Bagian inti e-modul memuat materi pembelajaran yang disusun secara sistematis dan kontekstual sesuai struktur kurikulum dan prinsip TPACK. Submateri yang dibahas meliputi hakikat gelombang bunyi, sifat-sifat gelombang, cepat rambat bunyi, resonansi, intensitas dan taraf intensitas, frekuensi dan efek Doppler.

Setiap submateri terdiri atas pengantar, paparan materi utama dengan gambar dan tautan video, fitur “sekilas info”, latihan soal, studi kasus dan eksplorasi masalah. Untuk mendukung komunikasi ilmiah, e-modul menyediakan aktivitas

menulis laporan, membuat grafik, menjawab soal berbasis teks ilmiah, hingga presentasi siswa. Siswa mengevaluasi capaian belajar di tiap akhir submateri.

g. Rancangan Aktivitas Pembelajaran Siswa

Aktivitas siswa dirancang bervariasi dan melibatkan berbagai keterampilan komunikasi ilmiah, di antaranya membaca teks ilmiah, mengamati video, menulis hasil pengamatan, menyusun grafik, berdiskusi dan menyampaikan hasil dalam bentuk lisan atau tulisan. Aktivitas ini bertujuan untuk mengembangkan kemampuan keterampilan komunikasi ilmiah dan menyampaikan informasi secara logis.

h. Rancangan Evaluasi dan Referensi

Penyusun e-modul menyediakan kunci jawaban untuk soal-soal latihan dan evaluasi guna mendukung proses evaluasi pembelajaran. Kunci jawaban ini bermanfaat sebagai bahan refleksi mandiri bagi siswa dan sebagai alat evaluasi bagi guru dalam memberikan umpan balik.

Penyusun e-modul menyusun daftar pustaka berdasarkan sumber-sumber ilmiah yang digunakan dalam pengembangan e-modul, baik

dari buku teks, jurnal, maupun sumber daring yang relevan dan valid.

3. Tahap Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan merupakan proses mewujudkan desain e-modul menjadi produk yang siap diuji coba. E-modul dikembangkan menggunakan platform *Heyzine Flipbook Maker* untuk menghasilkan buku digital interaktif yang mendukung visualisasi konsep fisika. Proses ini melibatkan integrasi tiga elemen utama TPACK: *content Knowledge* (CK) berupa materi gelombang bunyi, *pedagogy Knowledge* (PK) melalui strategi dan aktivitas kerja kelompok dan *Technology Knowledge* (TK) melalui penggunaan media interaktif seperti video, simulasi, dan kuis daring.

Pengembangan materi dilakukan berdasarkan indikator keterampilan komunikasi ilmiah yang telah ditetapkan. Setiap submateri disusun mencakup aktivitas yang melatih siswa dalam mencari informasi, mengamati video eksperimen, menulis laporan ilmiah, mempresentasikan data, dan menyampaikan gagasan dalam diskusi atau presentasi. Seluruh konten dikemas dalam struktur modular agar mudah diakses dan dipelajari secara mandiri.

Setelah penyusunan, e-modul divalidasi oleh dua ahli media. Hasil validasi menunjukkan tingkat

kelayakan sangat tinggi dengan skor 96,87% (cukup valid, sehingga dapat digunakan tetapi dengan sedikit revisi) dan 96,09% (valid, sehingga dapat digunakan tanpa revisi). Namun, terdapat masukan terkait penyempurnaan kualitas video pembelajaran, yang kemudian dijadikan dasar untuk merevisi produk. Proses revisi dilakukan guna memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya layak secara isi dan tampilan, tetapi juga efektif dalam meningkatkan komunikasi ilmiah siswa.

a. Revisi Produk

Tahap revisi produk dilakukan setelah proses validasi oleh ahli media. Validasi ini bertujuan untuk menilai kelayakan e-modul dari berbagai aspek, seperti isi materi, tampilan visual, keterbacaan bahasa, integrasi komponen TPACK dan kesesuaian dengan indikator keterampilan komunikasi ilmiah.

Meskipun hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul berada dalam kategori “sangat layak” dan “layak”, namun tetap terdapat beberapa catatan dan saran dari para validator yang perlu ditindaklanjuti. Oleh karena itu, revisi dilakukan sebagai upaya penyempurnaan agar e-modul yang dikembangkan menjadi lebih optimal dalam

memndukung proses pembelajaran fisika dan penguatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Penyempurnaan media dilakukan setelah melalui tahap validasi oleh para ahli. Proses validasi melibatkan desen validator yang memberikan sejumlah kritik dan saran konstruktif. Rangkuman hasil validasi tersebut disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 hasil kritik dan saran

No	Aspek direvisi	Sebelum revisi	Setelah revisi	Sumber masukan
1	Kualitas gambar	Beberapa gambar kurang jelas dan resolusinya rendah	Gambar diganti dengan versi resolusi tinggi dan diperjelas kontrasnya	Aspek Media

Revisi ini dilakukan untuk menindaklanjuti saran dan penilaian dari para validator, terutama pada aspek visual, konten, dan bahasa yang memerlukan perbaikan minor. Revisi ini bertujuan menyempurnakan produk agar lebih layak dan efektif dalam mendukung pembelajaran fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine*, sekaligus mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa secara optimal. Rekomendasi revisi tersebut berasal dari penilaian aspek media sebagaimana tercantum dalam lembar validasi ahli materi lampiran 5 dan

6. Dokumentasi hasil revisi ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.

Pendahuluan
GELOMBANG BUNYI



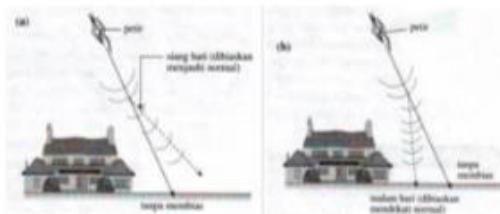
(a)

Pendahuluan
GELOMBANG BUNYI

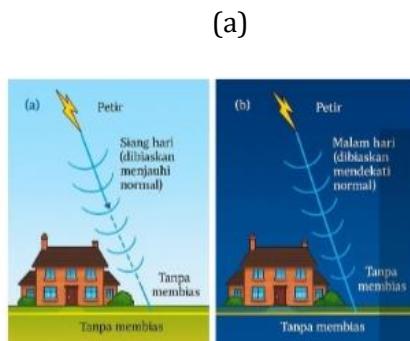


(b)

Gambar 4.7 (a) gambar e-modul sebelum revisi
(b) gambar e-modul setelah revisi



Gambar 1. Pembiasan gelombang bunyi



Gambar 3. (a) pembiasan bunyi pada malam hari, (b) pembiasan bunyi pada siang hari

(b)

Gambar 4.8 (a) gambar e-modul sebelum revisi
 (b) gambar e-modul setelah revisi

4. Tahap Implementasi (*Implementation*)

Tahap implementasi merupakan tahap penerapan produk e-modul berbasis TPACK ke dalam kegiatan pembelajaran di kelas. Implementasi dilakukan di SMA Negeri 1 Jogorogo pada bulan Mei 2025. Subjek penelitian terdiri dari kelas XI-C IPA

untuk uji coba skala kecil, kelas XI-A sebagai kelas eksperimen yang pembelajarannya menggunakan e-modul berbasis TPACK, dan kelas XI-B sebagai kelas kontrol yang pembelajarannya menggunakan buku teks.

Pelaksanaan implementasi mencakup kegiatan *pretest*, pembelajaran dengan dan tanpa e-modul dan *posttest*. Tujuannya adalah untuk melihat efektivitas e-modul dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Berikut rekap jadwal pelaksanaan penelitian terlihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekap jadwal penelitian

No	Hari, Tanggal	Kegiatan	Kelas	Jumlah JP
1	Rabu, 14 Mei 2025	Pembelajaran menggunakan e-modul (uji skala kecil)	XI-C IPA	2 JP
2	Kamis, 15 Mei 2025	Uji coba soal	XI-C IPA	2JP
3	Jumat, 16 Mei 2025	<i>Pretest</i> dan pembelajaran materi 1	XI-A IPA (eksperimen)	2 JP
4	Senin, 19 Mei 2025	Pembelajaran materi 1 (lanjutan)	XI-A IPA (eksperimen)	2 JP
5	Selasa , 20 Mei 2025	Pelaksanaan <i>pretest</i>	XI-B IPA (Kontrol)	1 JP
6	Selasa , 20 Mei 2025	Pembelajaran materi 2	XI-A IPA (eksperimen)	2 JP
7	Rabu, 21 Mei 2025	Pembelajaran materi 1	XI-B IPA (kontrol)	2 JP
8	Kamis , 22 Mei 2025	<i>Posttest</i>	XI-A IPA (eksperimen)	1 JP
9	Kamis , 22 Mei 2025	Pembelajaran materi 2	XI-B IPA (kontrol)	2 JP
10	Jumat, 23Mei 2025	<i>Posttest</i>	XI-B IPA (kontrol)	1 JP

Tabel 4.2 menunjukkan urutan kegiatan selama proses implementasi, mulai dari uji coba skala kecil, *pretest*, pembelajaran menggunakan e-modul maupun tanpa pembelajaran secara konvensional, hingga pelaksanaan *posttest*. Kegiatan ini dilakukan dalam rentang waktu satu minggu lebih, dengan pembagian waktu yang merata antara kelas eksperimen dan kelas kontrol untuk menjamin kesetaraan perlakuan dalam proses pembelajaran.

5. Tahap Evaluasi (*Evaluation*)

Tahap evaluasi bertujuan untuk menilai efektivitas e-modul berbasis TPACK dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana produk yang dikembangkan memberikan dampak terhadap hasil belajar siswa, khususnya dalam aspek komunikasi ilmiah. Evaluasi dilakukan dalam dua bentuk, yaitu:

- a. Evaluasi formatif, dilakukan melalui uji coba instrumen soal di kelas XI C. Tujuannya adalah untuk menguji kualitas soal uraian yang digunakan dalam *pretest* dan *posttest*. Analisis dilakukan terhadap butir soal untuk memperoleh data validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya beda. Hasil dari analisis ini digunakan untuk

menyempurnakan soal sebelum digunakan dalam evaluasi sumatif.

- b. Evaluasi sumatif, dilakukan melalui pemberian *pretest* dan *posttest* di dua kelas, yaitu kelas XI A (kelas eksperimen) dan XI B (kelas kontrol). Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan e-modul dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.

Instrumen yang digunakan berupa soal uraian dengan enam indikator keterampilan komunikasi ilmiah, yaitu: pencarian informasi, membaca ilmiah, mendengar dan mengamati, menulis ilmiah, representasi informasi, dan presentasi pengetahuan. Soal digunakan dalam *pretest* dan *posttest* untuk mengukur perubahan kemampuan siswa sebelum dan sesudah perlakuan.

Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk melihat perbedaan skor rata-rata *pretest* dan *posttest*, sedangkan analisis inferensial meliputi uji normalitas, uji homogenitas, dan uji-t untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

B. Hasil Uji coba Produk

Hasil uji coba produk diperoleh melalui serangkaian tahapan pengembangan yang telah dilaksanakan, salah satunya adalah uji kelayakan yang dilakukan melalui proses validasi oleh para ahli. Penelitian ini melibatkan dua dosen sebagai validator ahli yang berperan sebagai ahli materi sekaligus ahli media dalam proses validasi. Proses validasi ini bertujuan untuk menilai kelayakan e-modul fisika yang dikembangkan, baik dari sisi isi materi, desain tampilan, penggunaan bahasa dan dukungannya terhadap keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Validasi ini menjadi dasar untuk mengetahui sejauh mana e-modul tersebut telah sesuai dengan kriteria pembelajaran yang efektif dan layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran di tingkat SMA.

1. Analisis Data Hasil Validasi Produk oleh Ahli Materi dan Media

Penilaian kelayakan produk dilakukan oleh dua validator, yaitu seorang ahli materi dan seorang ahli media. Validasi bertujuan untuk menilai sejauh mana e-modul fisika berbasis TPACK memenuhi syarat kelayakan sebelum diterapkan dalam kegiatan pembelajaran. Aspek yang dinilai meliputi keterampilan komunikasi ilmiah, materi, desain, dan bahasa. Total terdapat 32 indikator yang dinilai

menggunakan skala Likert 1 sampai 4, dengan skor 4 menunjukkan kualitas sangat baik.

Validator I memberikan total skor sebesar 124 dan validator II memberikan skor 123 dari skor maksimum 128. Indeks kelayakan yang diperoleh sebesar 96,87% dan termasuk dalam kategori sangat layak. Nilai ini menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi standar isi, penyajian dan teknis yang dibutuhkan dalam pembelajaran fisika. Rincian hasil validasi dari kedua validator disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4.1 Rincian hasil validasi dari kedua validator

Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Hasil Validasi		Rata-rata
		Validator I	Validator II	
Aspek keterampilan komunikasi ilmiah	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	3	4	3,5
	4	4	4	4
	5	4	3	3,5
	6	4	4	4
Aspek Materi	7	3	4	3,5
	8	4	4	4
	9	4	4	4
	10	4	4	4
	11	4	3	3,5
	12	4	3	3,5
	13	4	4	4
	14	4	4	4
	15	4	4	4
	16	3	4	3,5
	17	4	4	4
	18	4	4	4
	19	4	3	3,5
	20	4	3	3,5
Aspek desain	21	4	4	4
	22	3	4	3,5
	23	4	4	4
	24	4	4	4
	25	4	4	4
	26	4	4	4
	27	3	4	3,5
	28	4	4	4
Aspek bahasa	29	4	4	4
	30	4	4	4
	31	4	4	4
	32	4	4	4
Total skor				123,5
Indeks kelayakan		96,48%		
Kategori		Sangat layak		

Tabel 4.3 menjelaskan aspek keterampilan komunikasi ilmiah terdiri dari enam indikator yang mendapatkan skor tinggi, yaitu antara 3 dan 4. Penilaian ini menunjukkan bahwa elemen komunikasi ilmiah

seperti pencarian informasi, observasi, representasi data, dan presentasi pengetahuan telah tercermin secara baik dan relevan dalam e-modul.

Aspek materi memperoleh skor sempurna pada sebagian besar indikator dari kedua validator. Penilaian ini menggambarkan bahwa isi materi telah sesuai dengan kompetensi dasar, akurat secara konsep dan disusun secara sistematis. Beberapa indikator, seperti nomor 7, 11, 12, 16, 19, dan 20, memperoleh skor 3 dari salah satu validator, yang menandakan perlunya sedikit penyempurnaan pada kedalaman atau penekanan materi.

Aspek desain mendapat respons sangat baik. Tampilan visual, struktur penyajian, dan integrasi media pendukung dinilai efektif dalam menunjang keterlibatan siswa. Dua indikator memperoleh skor 3 dari validator I, namun secara umum desain dianggap memenuhi prinsip desain pembelajaran yang menarik dan fungsional.

Aspek bahasa menunjukkan hasil optimal. Seluruh indikator dalam aspek ini memperoleh skor 4 dari kedua validator. Bahasa yang digunakan dalam e-modul dinilai komunikatif, sesuai kaidah, dan mudah dipahami oleh peserta didik.

Hasil validasi secara keseluruhan menegaskan bahwa e-modul fisika berbasis TPACK sangat layak digunakan dalam pembelajaran. Skor indeks kelayakan sebesar 96,48% menunjukkan bahwa e-modul ini memenuhi syarat kualitas untuk diterapkan sebagai media pembelajaran pada materi gelombang bunyi, sekaligus mendukung peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa.

2. Analisis Butir Soal

a. Hasil Uji Validitas

Uji validitas butir soal dilakukan menggunakan *software Winsteps* versi 4.7.0.0 dengan pendekatan model *Rasch* terhadap 20 soal dan 35 responden. Analisis validitas didasarkan pada tiga indikator utama, yaitu: *Outfit Mean Square (MNSQ)*, *Z-Standardized (ZSTD)*, dan *Point Measure Correlation (Pt Measure Corr)*.

Berdasarkan hasil analisis, sebanyak 19 butir soal dinyatakan valid karena memenuhi minimal dua indikator kesesuaian, sedangkan 1 butir soal dinyatakan tidak valid karena berada di luar batas toleransi yang disarankan. Butir soal yang valid meliputi: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P19 dan P20. Sementara itu, butir P18 tidak memenuhi kriteria

karena tidak ada kriteria yang sesuai dengan syarat dari validitas.

Tabel 4.4 Hasil uji validitas

Item	Outfit MNSQ	ZSTD	Pt Measure Corr	Valid
P18	1,65	2,62	-0,03	Tidak
P12	1,24	1,03	0,48	Valid
P19	1,21	0,92	0,46	Valid
P11	1,18	0,88	0,24	Valid
P10	1,19	0,85	0,61	Valid
P3	1,16	0,79	0,46	Valid
P5	1,15	0,72	-0,04	Valid
P7	1,10	0,50	0,27	Valid
P17	1,05	0,28	0,34	Valid
P14	1,03	0,21	0,80	Valid
P8	0,97	-0,05	0,34	Valid
P6	0,97	-0,07	0,58	Valid
P2	0,94	-0,17	0,59	Valid
P9	0,90	-0,36	0,63	Valid
P20	0,86	-0,55	0,53	Valid
P4	0,79	-0,90	0,53	Valid
P15	0,74	-1,17	0,55	Valid
P1	0,71	-1,31	0,69	Valid
P16	0,60	-1,98	0,46	Valid
P13	0,58	-2,07	0,64	Valid

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Winsteps 4.4.0.0, diperoleh bahwa 19 dari 20 butir soal dinyatakan valid dan layak digunakan untuk mengukur kemampuan komunikasi ilmiah siswa. Satu butir soal (P18) perlu direvisi atau dibuang karena tidak memenuhi kriteria validitas (nilai MNSQ dan ZSTD terlalu tinggi, dan nilai Pt. Measure Corr yang terlalu rendah). Selanjutnya, 19 soal valid tersebut dapat digunakan untuk pengujian reliabilitas dan analisis efektivitas

instrumen. Rincian hasil penelitian uji validitas dapat dilihat pada lampiran 20.

b. Hasil Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana instrumen penelitian memiliki konsistensi dalam mengukur kemampuan siswa. Dalam penelitian ini, uji reliabilitas dianalisis menggunakan model Rasch dengan bantuan software Winsteps versi 4.7.0.0. Hasil pengujian mencakup tiga komponen utama, yaitu: person reliability, item reliability, dan Cronbach's Alpha (KR-20).

Tabel 4.3 Hasil Uji Reliabilitas Model Rasch (Winsteps)

Komponen	Nilai	Kategori Sumintono & Widhiarso, (2015)
Person Reliability (Real)	0,79	Cukup
Person Reliability (Model)	0,81	Bagus
Item Reliability (Real)	0,91	Bagus Sekali
Item Reliability (Model)	0,92	Bagus Sekali
Cronbach's Alpha (KR-20)	0,81	Bagus Sekali

Person Reliability sebesar 0,81 menunjukkan bahwa respon peserta terhadap butir soal cukup konsisten dan mampu membedakan antara siswa dengan kemampuan tinggi dan rendah. Artinya, siswa menjawab soal dengan cukup serius, meskipun kemungkinan menebak masih ada.

Item Reliability sebesar 0,92 mengindikasikan bahwa setiap butir soal memiliki kualitas tinggi dan mampu mengukur kompetensi siswa secara akurat dan konsisten. Ini menunjukkan bahwa variasi soal dapat membedakan tingkat kemampuan siswa secara optimal.

Cronbach's Alpha (KR-20) sebesar 0,81 menunjukkan konsistensi internal antarbutir soal sangat baik. Instrumen tes yang digunakan dapat dianggap reliabel secara keseluruhan karena menunjukkan stabilitas hasil pengukuran. Berdasarkan nilai-nilai reliabilitas yang diperoleh, maka instrumen tes esai yang digunakan telah memenuhi syarat konsistensi dan kestabilan data, sehingga instrumen layak digunakan untuk mengukur kemampuan komunikasi ilmiah siswa pada materi gelombang bunyi secara reliabel dan terpercaya. Rincian hasil peelitian uji reliabilitas dapat dilihat pada lampiran 21.

c. Hasil Daya Pembeda Soal

Daya pembeda merupakan salah satu karakteristik penting dalam menganalisis kualitas butir soal. Daya pembeda berfungsi untuk menunjukkan sejauh mana suatu soal mampu membedakan antara peserta didik yang memiliki

kemampuan tinggi dan rendah (Arikunto, 2012). Dalam konteks pengembangan instrumen dengan pendekatan Rasch Model, indikator yang digunakan untuk menilai daya pembeda adalah nilai Point Measure Correlation (PT Measure Corr), yang menunjukkan korelasi antara skor suatu butir dengan skor keseluruhan yang diperoleh peserta didik.

Analisis daya pembeda dilakukan terhadap 20 butir soal menggunakan aplikasi Winsteps versi 4.7.0.0. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa satu butir soal memiliki nilai PT Measure Corr lebih dari 0,70 dan termasuk dalam kategori sangat baik. Sebanyak 14 butir soal berada pada rentang 0,41 hingga 0,70 dan tergolong baik. Dua butir soal berada pada rentang 0,21 hingga 0,40 dan dikategorikan cukup. Sementara itu, dua butir lainnya memiliki nilai negatif atau sangat rendah (PT Measure Corr < 0,20) sehingga diklasifikasikan sebagai butir yang tidak valid atau lemah dan tidak layak untuk digunakan dalam uji coba lebih lanjut.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar butir soal yang dikembangkan telah mampu membedakan

kemampuan peserta didik secara efektif. Sementara itu, butir soal yang tergolong tidak valid perlu direvisi atau dieliminasi agar tidak mengganggu validitas instrumen secara keseluruhan. Untuk lebih jelasnya, rekapitulasi hasil analisis daya pembeda berdasarkan nilai *point Measure Correlation (PT Measure Corr)* disajikan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Rekapitulasi hasil analisis daya pembeda

Item	PT Measure Corr	Kategori
11	0,24	Lemah
18	-0,03	Tidak valid
3	0,46	Baik
5	-0,04	Tidak valid
8	0,34	Cukup
7	0,27	Lemah
4	0,53	Baik
13	0,64	Baik
15	0,55	Baik
10	0,61	Baik
12	0,48	Baik
16	0,46	Baik
2	0,59	Baik
6	0,58	Baik
1	0,69	Baik
14	0,80	Sangat baik
9	0,63	Baik
20	0,53	Baik
17	0,34	Cukup
19	0,46	Baik

Penilaian ini sesuai dengan pendapat Arifin (2009), yang menyatakan bahwa butir soal dengan daya pembeda negatif dapat mengindikasikan adanya kejanggalan dalam penyusunan soal, seperti redaksi soal yang membingungkan atau

kunci jawaban yang tidak tepat. Rincian hasildaya beda dapat dilihat pada lampiran 22.

d. Hasil Tingkat Kesukaran Soal

Tingkat kesukaran soal menunjukkan sejauh mana soal dapat dijawab dengan benar oleh peserta tes. Analisis ini penting untuk mengetahui keberagaman tingkat kesulitan soal dan apakah soal telah sesuai dengan tingkat kemampuan siswa secara umum.

Dalam penelitian ini, analisis tingkat kesukaran dilakukan menggunakan *model rasch* melalui *Winstep*. Pengelompokan tingkat kesukaran ditentukan berdasarkan distribusi nilai logit (Measure) dan standar deviasi (SD) dengan perolehan SD sebesar 0,94 yang berlaku pada model rasch, yaitu: soal dikategorikan sangat mudah jika nilai logit kurang dari -SD, mudah jika berada antara -SD hingga 0, sukar jika berada antara 0 hingga +SD, dan sangat sukar jika melebihi +SD. Berdasarkan hasil analisis terhadap 20 butir soal, diperoleh klasifikasi sebagai berikut pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 kesukaran soal berdasarkan model rasch

No soal	Measure Logit	Kategori
11	1,61	Sangat sukar
18	1,61	Sangat sukar
3	1,53	Sangat sukar
5	1,25	Sangat sukar
8	1,12	Sangat sukar
7	1,05	Sangat sukar
4	0,30	Sukar
13	-0,26	Mudah
15	-0,33	Mudah
10	-0,47	Mudah
12	-0,47	Mudah
16	-0,47	Mudah
2	-0,61	Mudah
6	-0,61	Mudah
1	-0,69	Mudah
14	-0,76	Mudah
9	-0,84	Mudah
20	-0,91	Mudah
17	-0,99	Mudah
19	-1,06	Sangat Mudah

Sebaran tingkat kesukaran ini menunjukkan bahwa soal telah tersusun dengan baik dalam mencakup variasi kesulitan. Sebagian besar soal berada pada tingkat mudah dan sangat sukar, yang menciptakan keseimbangan antara soal-soal yang mengukur pemahaman dasar hingga soal yang mengukur keterampilan berpikir tingkat tinggi. Dengan demikian, instrumen soal yang dikembangkan dinilai telah mampu mengukur kompetensi siswa secara bertingkat dan menyeluruh, sesuai karakteristik penilaian formatif dan sumatif dalam pembelajaran fisika.

Rincian hasil tingkat kesukaran dapat dilihat pada lampiran 23.

3. Analisis awal data penelitian

a. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil belajar siswa berdistribusi normal, baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Pengujian dilakukan menggunakan *uji Shapiro-Wilk*, karena jumlah sampel pada masing-masing kelompok kurang dari 50 responden. Kriteria pengambilan keputusan adalah:

- 1) Jika nilai signifikansi (Sig.) $> 0,05$, maka data dianggap berdistribusi normal.
- 2) Jika nilai signifikasi (Sig) $\leq 0,05$, maka data dianggap tidak normal.

Hasil uji normalitas ditampilkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk*

Kelompok	Statistic shapiro-wilk	Df	Sig.(p)	Kesimpulan
Pretest kontrol	0,957	33	0,207	Normal
Pretest eksperimen	0,955	36	0,152	Normal
Posttest kontrol	0,936	33	0,054	Normal
Posstest eksperimen	0,947	36	0,086	Normal

Berdasarkan Tabel 4.8, hasil uji normalitas menunjukkan bahwa seluruh data berdistribusi

normal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai signifikansi (Sig.) pada kelas eksperimen saat *pretest* sebesar $0,152 > 0,05$ dan *posttest* sebesar $0,086 > 0,05$. Sementara itu, pada kelas kontrol diperoleh nilai signifikansi *pretest* sebesar $0,207 > 0,05$ dan *posttest* sebesar $0,054 > 0,05$. Rincian hasil penelitian uji normalitas terdapat pada lampiran 27.

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas varians dilakukan untuk mengetahui apakah data pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol memiliki varians yang sama. pengujian ini menggunakan *Levene's Test for Equality of Variances*, dengan signifikansi (Sig.) sebagai indikator utama. Jika nilai Sig. $> 0,05$, maka data dianggap memiliki varians yang homogen. Hasil uji homogenitas varians yang ditampilkan dalam tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji Homogenitas Varians
(*Levene's Test*)

Jenis data	Levene statistic	df 1	df 2	Sig.	Kesimpulan
Pretest	1,264	1	67	0,265	Homogen
Posttest	0,94	1	67	0,761	Homogen

Berdasarkan tabel 4.9, nilai signifikansi untuk data *pretest* sebesar 0,265 dan *posttest* sebesar

0,761, yang keduanya lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Hal ini berarti varians data pada kelompok kontrol dan eksperimen adalah homogen, baik sebelum maupun sesudah perlakuan. Sehingga data memenuhi salah satu syarat untuk dilakukan *uji statistik parametrik*, seperti uji-t. Rincian hasil penelitian uji homogenitas terdapat pada lampiran 28.

5. Analisis Akhir

a) Uji Efektivitas (Uji-t)

Setelah data *pretest* dan *posttest* teruji normal dan homogen, dilakukan uji-t (*independent sample t-test*) untuk mengetahui perbedaan rata-rata antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Analisis ini bertujuan untuk menguji efektivitas perlakuan yang diberikan melalui e-modul berbasis TPACK terhadap peningkatan kemampuan komunikasi ilmiah peserta didik.

Uji-t dilakukan menggunakan bantuan program SPSS versi 24, dan hasil analisis ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil analisis uji-t *pretest* dan *posttest*

Jenis uji	Kelompok	Mean	Std. Dev	T	Sig.(2-tailed)	Keputusan
<i>Pretest</i>	Eksperimen	48,58	10,221	1,208	0,231	H_0 diterima, H_a ditolak (tidak ada perbedaan signifikan)
	Kontrol	51,36	8,749			
<i>posttest</i>	Eksperimen	89,17	6,712	-	<0,001	H_0 ditolak, H_a diterima, (ada perbedaan signifikan)
	Kontrol	81,45	6,190	4,947		

Berdasarkan tabel 4.10, hasil uji-t *pretest* diperoleh nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar 0,231. Nilai ini lebih besar dari taraf signifikansi 0,05, sehingga H_0 diterima dan H_a ditolak. Artinya, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata *pretest* kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa sebelum perlakuan diberikan, kedua kelas berada pada tingkat kemampuan awal yang setara.

Hasil uji-t *posttest* menunjukkan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) sebesar < 0,001, yang berarti lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak dan H_a diterima. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata *posttest* kelas eksperimen dan kelas kontrol. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa

perlakuan berupa penggunaan e-modul berbasis TPACK berpengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan komunikasi ilmiah siswa pada materi gelombang bunyi. Informasi lebih detail mengenai uji-t dapat ditemukan di lampiran 29.

b) Hasil Perhitungan N-Gain

Tahap akhir dari analisis data dalam penelitian ini adalah melakukan uji N-Gain, yang bertujuan untuk mengetahui peningkatan kemampuan komunikasi ilmiah peserta didik setelah perlakuan menggunakan e-modul berbasis TPACK. Uji N-Gain dilakukan dengan membandingkan skor *pretest* dan *posttest* peserta didik baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol.

Pengolahan data uji N-Gain dilakukan dengan bantuan program SPSS versi 24. Hasil perhitungan nilai N-Gain (baik dalam bentuk skor maupun persentase) dari kedua kelas disajikan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.11 rata-rata skor dan persentase N-Gain kelas eksperimen dan kelas kontrol

komponen	Kelas eksperimen	Kelas kontrol
N-Gain skor	0,7842	0,6987
N-Gain persen (%)	78,4171	69,8675
Jumlah siswa (N)	36	69
Minimum (%)	36,36	24,24
Maksimum (%)	100,00	100,00
Standar Deviasi (%)	14,35	17,19
Kriteria Efektivitas	Tinggi	Sedang

Berdasarkan Tabel 4.11, rata-rata nilai N-Gain pada kelas eksperimen sebesar 0,7842 dengan persentase peningkatan sebesar 78,4171%, sedangkan pada kelas kontrol sebesar 0,6987 dengan persentase 69,8675%. Mengacu pada klasifikasi N-Gain menurut Hake (1999), yaitu tinggi ($g \geq 0,7$), sedang ($0,3 \leq g < 0,7$), dan rendah ($g < 0,3$), maka hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan komunikasi ilmiah peserta didik di kelas eksperimen termasuk dalam kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol termasuk dalam kategori sedang.

Perbedaan kategori peningkatan tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan e-modul berbasis TPACK lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan komunikasi ilmiah peserta didik dibandingkan dengan pembelajaran menggunakan buku teks. Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya pada analisis uji-t *posttest* yang juga menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kedua kelas setelah perlakuan diberikan. Rincian nilai N-Gain individual peserta didik kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada Lampiran 30.

C. Analisis Data Persepsi Peserta Didik

Tanggapan siswa terhadap penggunaan e-modul fisika berbasis TPACK dikumpulkan melalui angket yang terdiri dari 11 pernyataan. Masing-masing pernyataan dinilai dengan skala likert 1-4, mulai dari sangat tidak setuju (1) hingga sangat setuju (4). Pernyataan mencakup aspek konten, tampilan visual, interaktivitas dan manfaat e-modul terhadap pemahaman konsep dan keterampilan komunikasi ilmiah. Rincian hasil analisis data persepsi disajikan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Rincian hasil analisis data persepsi

Aspek	Percentase	Kriteria
Kelayakan tampilan	85,65	Sangat layak
Kelayakan isi	83,33	Sangat layak
Kelayakan manfaat	81,42	Sangat layak
Jumlah keseluruhan	83,47	Sangat layak

Berdasarkan hasil pengolahan data dari 36 responden, diperoleh rata-rata skor sebesar 83,47% dari total skor maksimum yang dapat dicapai. Skor pada aspek kelayakan mendapatkan skor persentase 85,65%, pada kelayakan isi mendapatkan skor persentase 83,33% dan pada aspek kelayakan kemanfaatan mendapat skor 81,42%.

Sebagian besar siswa menyatakan bahwa e-modul ini memudahkan mereka memahami konsep gelombang bunyi, membantu menuliskan hasil penngamatan dengan

sistematis dan mendorong mereka lebih aktif dalam berdiskusi dan mempresentasikan ide secara ilmiah. Tampilan flipbook yang menarik, keberadaan video dan fitur interaktif juga turut meningkatkan motivasi belajar.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa e-modul fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* tidak hanya efektif secara akademik, tetapi juga diterima secara positif oleh siswa dari sisi pengalaman belajar.

D. Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan emodul fisika berbasis TPACK pada materi gelombang bunyi dan mengevaluasi kelayakan, efektivitas, dan persepsi peserta didik terhadap produk yang dikembangkan. Pembahasan pada bab ini disusun berdasarkan hasil temuan lapangan dan bertujuan menjawab ketiga rumusan masalah dalam penelitian.

Proses validasi dilakukan oleh dua validator yang mencakup empat aspek utama, yaitu isi/materi, desain media, bahasa, dan muatan keterampilan komunikasi ilmiah. Rata-rata skor keseluruhan mencapai 96,48% yang termasuk dalam kategori sangat layak. Aspek desain dan kebahasaan memperoleh skor sempurna sebesar 100%, sedangkan aspek materi dan keterampilan komunikasi

ilmiah memperoleh skor masing-masing sebesar 92,85% dan 95,83%.

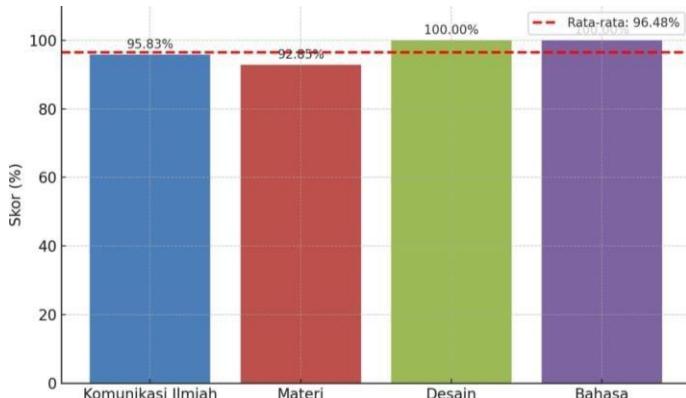
Capaian tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi prinsip-prinsip pengembangan media pembelajaran berbasis TPACK, yakni adanya integrasi harmonis antara *Content Knowledge* (CK), *Pedagogical Knowledge* (PK), dan *Technological Knowledge* (TK). Kehadiran fitur-fitur interaktif seperti video, simulasi, dan tautan ke eksperimen virtual memperkuat dimensi *Technological Content Knowledge*, yang menjadi ciri khas pembelajaran berbasis TPACK.

Kelayakan e-modul juga ditunjukkan melalui penyusunan materi yang sistematis dan kontekstual. Materi gelombang bunyi disajikan dalam format multimodal, sehingga siswa dapat memahami konsep abstrak melalui ilustrasi visual, narasi verbal, serta pengalaman eksploratif. Hal ini sejalan dengan teori Mayer (2009) mengenai *multimedia learning*, yang menekankan pentingnya pengolahan informasi melalui dua saluran utama, yaitu visual dan verbal, untuk memperkuat pemahaman konsep.

Penilaian dari para validator mendukung hasil penelitian Zakariah et al. (2020) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis TPACK terbukti mampu memfasilitasi pemahaman konsep fisika secara menarik, fleksibel, dan

terstruktur. Konteks ini, integrasi antara teknologi dan pedagogi tidak hanya meningkatkan kualitas tampilan media, tetapi juga memperluas kemungkinan strategi pembelajaran yang dapat digunakan oleh guru maupun peserta didik.

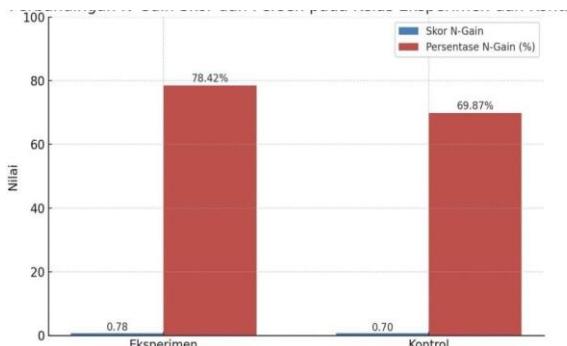
Mempertimbangkan nilai validasi yang tinggi, keterpaduan konten, dan kekayaan fitur media, e-modul ini dapat dinyatakan sangat layak digunakan sebagai sarana pembelajaran mandiri maupun sebagai pendamping kegiatan belajar mengajar di kelas, khususnya pada topik gelombang bunyi. Penyajian grafik 4.9 memberikan visualisasi hasil validasi e-modul fisika berbasis TPACK berdasarkan empat aspek penilaian.



Gambar 4.9. Grafik Hasil Validasi E-Modul Fisika Berbasis TPACK per Aspek

Berdasarkan Gambar 4.9, dapat terlihat bahwa aspek desain dan bahasa memperoleh skor tertinggi, yaitu 100%, sementara aspek komunikasi ilmiah dan materi masing-masing memperoleh skor sebesar 95,83% dan 92,85%. Semua aspek berada di atas angka 90%, dan ratarata keseluruhan mencapai 96,48%, yang menguatkan bahwa e-modul berada dalam kategori sangat layak dari segi isi, tampilan, bahasa, maupun integrasi keterampilan ilmiah.

Efektivitas e-modul diukur berdasarkan peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah siswa setelah mengikuti pembelajaran menggunakan e-modul. Hasil uji efektivitas menunjukkan bahwa nilai rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 89,17 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang hanya mencapai 81,45. Hasil uji-t menunjukkan nilai signifikansi $< 0,001$ yang menandakan perbedaan yang sangat signifikan antara dua kelompok. Nilai N-Gain kelas eksperimen mencapai 0,78 (kategori tinggi), sedangkan kelas kontrol hanya 0,69 (kategori sedang). Visualisasi 4.10 menampilkan perbandingan skor dan persentase N-Gain pada kelas eksperimen dan kontrol berdasarkan hasil posttest.



Gambar 4.10. Grafik Perbandingan N-Gain Skor dan Persen pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

Berdasarkan Gambar 4.10, kelas eksperimen menunjukkan skor N-Gain sebesar 0,78 atau 78,42%, sedangkan kelas kontrol memperoleh skor 0,69 atau 69,87%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan e-modul fisika berbasis TPACK memberikan dampak yang lebih besar dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa dibandingkan pembelajaran konvensional.

Analisis lebih lanjut terhadap efektivitas e-modul fisika berbasis TPACK juga dilakukan dengan menelaah peningkatan pada enam indikator keterampilan komunikasi ilmiah. Pertama, pada indikator pencarian informasi, siswa menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menemukan dan memilih informasi yang relevan dari berbagai sumber digital maupun teks bacaan. Hal ini tercermin dari hasil tugas eksplorasi yang

memperlihatkan kecermatan siswa dalam memilah data sesuai konteks materi gelombang bunyi.

Kedua, pada indikator membaca ilmiah, peningkatan terlihat dari kemampuan siswa dalam memahami teks ilmiah, mengidentifikasi ide pokok, serta menarik simpulan yang tepat dari bacaan yang disajikan dalam e-modul. Ketiga, indikator mendengar dan mengamati turut mengalami peningkatan, terutama setelah siswa terlibat dalam aktivitas menonton video eksperimen dan simulasi. Mereka mampu mencatat hasil pengamatan secara sistematis dan menjawab pertanyaan berbasis tayangan dengan argumen yang lebih terstruktur. Selanjutnya, indikator menulis ilmiah menunjukkan peningkatan paling menonjol. Siswa lebih terampil menyusun laporan hasil praktikum dan menyampaikan ide secara logis dengan struktur kebahasaan yang sesuai kaidah ilmiah.

Keempat, kemampuan dalam representasi informasi juga mengalami perkembangan yang baik. Siswa dapat menyajikan data dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar dengan lebih akurat dan komunikatif. Terakhir, pada indikator presentasi pengetahuan, sebagian besar siswa mampu menyampaikan hasil kerja mereka melalui presentasi lisan, poster digital, atau slide

multimedia dengan alur penyampaian yang runtut dan menarik.

Peningkatan pada keenam indikator ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis TPACK tidak hanya mendorong pemahaman materi secara konseptual, tetapi juga membekali siswa dengan keterampilan komunikasi ilmiah yang esensial dalam pembelajaran fisika abad ke-21.

Analisis lebih lanjut terhadap efektivitas e-modul fisika berbasis TPACK juga dilakukan dengan menelaah peningkatan pada enam indikator keterampilan komunikasi ilmiah. Pertama, pada indikator pencarian informasi, siswa menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menemukan dan memilih informasi yang relevan dari berbagai sumber digital maupun teks bacaan.

Hal ini tercermin dari hasil tugas eksplorasi yang memperlihatkan kecermatan siswa dalam memilah data sesuai konteks materi gelombang bunyi. Kedua, pada indikator membaca ilmiah, peningkatan terlihat dari kemampuan siswa dalam memahami teks ilmiah, mengidentifikasi ide pokok, serta menarik simpulan yang tepat dari bacaan yang disajikan dalam e-modul. Ketiga, indikator mendengar dan mengamati turut mengalami peningkatan, terutama setelah siswa terlibat dalam aktivitas menonton video eksperimen dan simulasi.

Mereka mampu mencatat hasil pengamatan secara sistematis dan menjawab pertanyaan berbasis tayangan dengan argumen yang lebih terstruktur.

Indikator menulis ilmiah menunjukkan peningkatan paling menonjol. Siswa lebih terampil menyusun laporan hasil praktikum dan menyampaikan ide secara logis dengan struktur kebahasaan yang sesuai kaidah ilmiah. Keempat, kemampuan dalam representasi informasi juga mengalami perkembangan yang baik. Siswa dapat menyajikan data dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar dengan lebih akurat dan komunikatif. Terakhir, pada indikator presentasi pengetahuan, sebagian besar siswa mampu menyampaikan hasil kerja mereka melalui presentasi lisan, poster digital, atau slide multimedia dengan alur penyampaian yang runtut dan menarik. Peningkatan pada keenam indikator ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis TPACK tidak hanya mendorong pemahaman materi secara konseptual, tetapi juga membekali siswa dengan keterampilan komunikasi ilmiah yang esensial dalam pembelajaran fisika abad ke-21.

Hasil ini selaras dengan pendapat Levy et al. (2009) yang menyatakan bahwa keterampilan komunikasi ilmiah merupakan bagian penting dari literasi sains abad ke-21. Media yang dirancang dengan

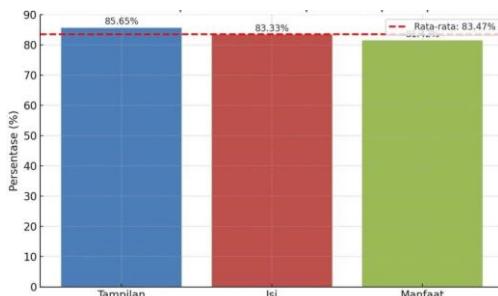
mengintegrasikan keterampilan ini akan mendorong siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengekspresikan dan membagikan pemahamannya dalam bentuk komunikasi ilmiah yang baik. Mayani et al. (2023) juga menyatakan bahwa pembelajaran dengan media berbasis TPACK mampu mendorong penguasaan keterampilan abad ke-21 secara komprehensif, terutama keterampilan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah.

Efektivitas e-modul ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan Heyzine Flipbook Maker dalam e-modul memberikan nilai tambah. Tampilan interaktif dengan navigasi mudah memungkinkan siswa belajar secara mandiri dengan alur yang lebih menyenangkan. Hal ini membantu siswa dalam mengakses informasi, memahami konsep secara visual, serta mencatat hal-hal penting secara efisien.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat bahwa e-modul fisika berbasis TPACK tidak hanya layak dari segi isi dan tampilan, tetapi juga terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa kelas XI.

Analisis angket menunjukkan bahwa peserta didik memberikan respons positif terhadap e-modul yang digunakan. Persentase rata-rata persepsi siswa sebesar 83,47% menunjukkan bahwa e-modul berada dalam

kategori sangat layak menurut pandangan siswa. Grafik 4.11 menyajikan distribusi persentase persepsi siswa terhadap e-modul berdasarkan tiga aspek penilaian.



Gambar 4.11. Grafik Persepsi Siswa terhadap E-Modul per Aspek

Berdasarkan Gambar 4.11, aspek tampilan memperoleh skor tertinggi sebesar 85,65%, diikuti aspek isi sebesar 83,33%, dan manfaat sebesar 81,42%. Ketiga aspek berada dalam kategori sangat layak, dengan ratarata keseluruhan sebesar 83,47%. Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul fisika berbasis TPACK mampu memenuhi harapan siswa dalam hal desain visual, isi materi, dan kemanfaatannya dalam mendukung pembelajaran fisika secara lebih menarik dan mudah dipahami.

Mayoritas siswa menyatakan bahwa e-modul memiliki tampilan menarik, mudah digunakan, dan mampu memfasilitasi pemahaman konsep secara lebih konkret. Respon positif ini diperoleh dari keberhasilan

e-modul dalam menyajikan pembelajaran yang menarik dan interaktif. Fitur seperti simulasi, video eksperimen, tugas reflektif, dan latihan eksplorasi turut memberikan dampak positif terhadap motivasi belajar siswa.

Temuan ini sejalan dengan teori Mayer (2009) yang menyatakan bahwa multimedia yang disusun secara tepat mampu memperkuat pemahaman melalui jalur verbal dan visual. Penelitian oleh Lailan (2024) juga mendukung bahwa media pembelajaran digital interaktif meningkatkan minat belajar dan mendorong keterlibatan siswa secara aktif.

Respon siswa yang tergolong sangat baik terhadap produk menunjukkan bahwa e-modul telah diterima secara optimal oleh peserta didik dan layak digunakan sebagai media pembelajaran berbasis TPACK.

Berdasarkan hasil analisis kelayakan, efektivitas, dan persepsi peserta didik, e-modul fisika berbasis TPACK yang dikembangkan terbukti dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang inovatif, layak, dan efektif. Integrasi antara konten, pedagogi, dan teknologi memungkinkan terciptanya pembelajaran fisika yang lebih bermakna, kontekstual, dan berorientasi pada keterampilan abad ke-21, khususnya komunikasi ilmiah. Pemanfaatan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* sebagai platform digital turut memperkuat interaktivitas dan

kemandirian belajar siswa. Dengan demikian, e-modul ini tidak hanya berkontribusi dalam mendukung capaian pembelajaran fisika, tetapi juga menjawab tantangan pengembangan media digital yang responsif terhadap kebutuhan belajar generasi digital saat ini.

E. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam implementasi dan pengembangan lebih lanjut.

1. Penelitian hanya dilakukan di SMA Negeri 1 Jogorogo dengan sampel siswa kelas XI IPA. Hal ini membatasi generalisasi hasil terhadap populasi siswa yang lebih luas dengan latar belakang sekolah, kurikulum, atau karakteristik yang berbeda.
2. Proses implementasi e-modul dilakukan dalam rentang waktu yang relatif singkat, sehingga belum dapat mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap keterampilan komunikasi ilmiah siswa.
3. Tidak semua siswa memiliki perangkat atau koneksi internet yang memadai untuk mengakses e-modul secara optimal. Hal ini dapat memengaruhi keaktifan siswa dalam menyelesaikan aktivitas digital yang tersedia dalam e-modul.

4. Penelitian ini berfokus pada peningkatan keterampilan komunikasi ilmiah, sehingga belum mengeksplorasi pengaruh e-modul terhadap keterampilan lain, seperti berpikir kritis, kreativitas, atau kolaborasi siswa.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan tentang Produk

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. E-modul fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine Flipbook Maker* pada materi gelombang bunyi hasil pengembangan dinyatakan sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran. Hal ini berdasarkan hasil validasi media dan materi dengan persentase rata-rata 96,87%, yang mencakup aspek isi, desain, bahasa, dan keterampilan komunikasi ilmiah.
2. E-modul efektif dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa kelas XI. Hal ini dibuktikan melalui uji *pretest* dan *posttest* yang menunjukkan peningkatan signifikan. Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,78 termasuk dalam kategori tinggi dan hasil uji-t menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai signifikansi $< 0,001$.
3. Persepsi peserta didik terhadap penggunaan e-modul sangat positif, dengan skor rata-rata sebesar 83,47%. Siswa menyatakan bahwa e-modul mudah digunakan, menarik, dan membantu dalam memahami materi

gelombang bunyi serta melatih kemampuan menulis dan menyampaikan informasi ilmiah.

B. Saran

Berdasarkan simpulan hasil penelitian, penulis memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi pihak-pihak terkait serta pengembangan selanjutnya:

1. Bagi guru dan praktisi pendidikan, e-modul fisika berbasis TPACK hasil pengembangan dapat dijadikan alternatif media pembelajaran yang mendukung keterampilan komunikasi ilmiah siswa. Guru diharapkan dapat memfasilitasi penggunaan e-modul ini dalam kegiatan belajar, baik di kelas maupun untuk tugas mandiri, dengan memberi arahan terkait fitur dan aktivitas dalam e-modul agar penggunaannya maksimal.
2. Bagi pengembang selanjutnya, disarankan memperluas cakupan materi pada e-modul ini, tidak hanya terbatas pada gelombang bunyi. Melainkan juga materi fisika lainnya seperti gelombang cahaya, listrik dinamis, atau mekanika. Pengembangan juga dapat mencakup peningkatan fitur interaktif, seperti kuis otomatis, integrasi video eksperimen, serta forum

diskusi antarsiswa agar kolaborasi dan interaktivitas lebih terasa.

3. Bagi peneliti lanjutan, sebaiknya melakukan uji coba pada populasi yang lebih luas dan waktu yang lebih panjang, serta melibatkan lebih banyak sekolah dari berbagai latar belakang agar generelisasi hasil menjadi lebih kuat. Penelitian lanjutan juga dapat menambahkan analisis keterampilan abad ke-21 lainnya seperti Komunikasi ilmiah, kolaborasi, atau pemecahan masalah.
4. Bagi sekolah dan pengambil kebijakan, penggunaan media pembelajaran berbasis TPACK seperti e-modul ini dapat dimasukkan dalam strategi pengembangan pembelajaran digital. Sekolah diharapkan memberikan dukungan sarana prasarana yang memadai, seperti akses internet stabil dan pelatihan pemanfaatan teknologi bagi guru dan siswa.

Dengan adanya saran ini, diharapkan e-modul fisika berbasis TPACK dapat terus dikembangkan dan dimanfaatkan secara lebih luas sebagai media pembelajaran inovatif yang sesuai dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). Gejala Gelombang. *Fisika Dasar II*.
<https://fmipa.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2017/12/Fisika-Dasar-II-Mikrajuddin-Abdullah-Mei-2017.pdf>
- Akbar, H. M., Event, D., Heviana, E., Rahayu, I. G., Darmansyah, D., & Demina, D. (2024). Konsep dan Implementasi TPACK pada Pembelajaran di Sekolah Menengah Pertama. *Diklat Review : Jurnal manajemen pendidikan dan pelatihan*, 8(1), 134–140.
<https://doi.org/10.35446/diklatreview.v8i1.1734>
- Almarzooq, Z. I., Lopes, M., & Kochar, A. (2020). Virtual Learning During the COVID-19 Pandemic: A Disruptive Technology in Graduate Medical Education. *Journal of the American College of Cardiology*, 75(20), 2635–2638.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.04.015>
- Amalida, L., & Halimah, L. (2023). Tantangan Pembelajaran Abad-21: Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Power Point Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah PENDAS: Primary Educational Journal*, 4(1), 54–60.
<https://doi.org/10.29303/pendas.v4i1.2082>
- Arisandi, M., Muslihin, H. Y., & Elan. (2024). Karakteristik E-Modul berbasis Problem Based Learning (PBL) dalam Pembelajaran di Sekolah Dasar. *Naturalistic: Jurnal Kajian Penelitian dan Pendidikan dan Pembelajaran*, 8(2), 312–321.
- Ashari, L. S., & Puspasari, D. (2024). Pengembangan E-Modul Berbasis Heyzine Flipbook pada Mata Pelajaran Otomatisasi Humas dan Keprotokolan di SMKN 2 Buduran Sidoarjo. *Journal of Social Science Research*, 4(1), 2568.
- Budiarti, M. indah eka, Faozun, I., Nalle, C. Y. A., & Yulianingsih, L. (2021). PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS Technological, Pedagogical, and Content Knowlodge (TPACK). *JPB: Jurnal Patria Bahari*, 1(2), 58–68.
128

- <https://doi.org/10.54017/jpb.v1i2.23>
- Budiyono, S. & Haerullah. (2024). Dampak Teknologi Terhadap Pembelajaran Di Abad 21. *Jurnal Penelitian Guru Indonesia*, 4, 1790–1800.
- Cici Mayani, Djohar Maknun, & Mujib Ubaidillah. (2023). Analisis keterampilan komunikasi ilmiah pada pembelajaran biologi. *Science Education and Development Journal Archives*, 1(1), 13–28. <https://doi.org/10.59923/sendja.v1i1.2>
- Erawati, N. K., Purwati, N. K. R., & Saraswati, I. D. A. P. D. (2022). Pengembangan E-Modul Logika Matematika Dengan Heyzine untuk Menunjang Pembelajaran di SMK. *Jurnal Pendidikan Matematika (JPM)*, 8(2), 71–80. <https://doi.org/10.33474/jpm.v8i2.16245>
- Farahin Rachman Laraphaty, N., Riswanda, J., Putri Anggun, D., Engga Maretha, D., & Ulfa, K. (2021). Review: PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN MODUL ELEKTRONIK (E-MODUL). *Inovasi Dan Tantangan Pembelajaran Serta Riset Biologi Berbasis Islami Di Era Pandemi*, 145–148. http://proceedings.radenfatah.ac.id/index.php/semnasp_bio
- Fitrah, M. (2020). Penggunaan Media Kartu Domino Pecahan Senilai Dalam Pembelajaran Matematika Berbasis Pendekatan Stem. *Aksioma*, 9(1), 51–56. <https://doi.org/10.22487/aksioma.v9i1.218>
- Hardanti, P., Murtinugraha, R. E., & Arthur, R. (2024). Studi Literatur: Pemanfaatan Pendekatan TPACK (Technological, Pedagogical, And Content Knowledge) pada Pengembangan E-Modul Pembelajaran. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 1(3), 11. <https://doi.org/10.47134/jtp.v1i3.307>
- Ismail, H. (2019). PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS APLIKASI CANVA DAN HEYZINE PADA MATA PELAJARAN PENDIDIKAN AGAM AISLAM TAMA (SMP) NEGERI 03 PALOPO. *Core.Ac.Uk*. <https://core.ac.uk/download/pdf/198238758.pdf>

- Kemendikbud. (2022). Capaian Pembelajaran Mata Pelajaran Matematika Fase A - Fase F. *Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Riset dan Teknologi Republik Indonesia*, 21.
- Lailan, A. (2024). Peran Teknologi Pendidikan Dalam Pembelajaran. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 3(7), 3257-3262. <https://doi.org/10.55681/sentri.v3i7.3115>
- Lastri, Y. (2023). Pengembangan Dan Pemanfaatan Bahan Ajar E-Modul Dalam Proses Pembelajaran. *Jurnal Citra Pendidikan*, 3(3), 1139-1146. <https://doi.org/10.38048/jcp.v3i3.1914>
- Manzil, E. F., Sukamti, S., & Thohir, M. A. (2022). Pengembangan E-Modul Interaktif Heyzine Flipbook Berbasis Scientific Materi Siklus Air Bagi Siswa Kelas V Sekolah Dasar. *Sekolah Dasar: Kajian Teori dan Praktik Pendidikan*, 31(2), 112. <https://doi.org/10.17977/um009v31i22022p112>
- Meilani, D., & Aiman, U. (2020). Implementasi Pembelajaran Abad 21 terhadap Hasil Belajar IPA Peserta Didik dengan Pengendalian Motivasi Belajar. *Indonesian Journal of Primary Education*, 4(1), 19-24. <https://doi.org/10.17509/ijpe.v4i1.24419>
- Muhammad, D., Akbar, T., & Madiun, U. P. (2024). Pengembangan Modul Pembelajaran Elektronika Digital Berbasis Aplikasi Heyzine Flipbook Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kreatif Mahasiswa Semester 2 Pendidikan Teknik Elektro UNIPMA. 3(1), 457-470.
- Muljo, A., Anggreni, F., & Maulida, S. (2024). Pengembangan E-Modul Persamaan Lingkaran Kelas XI Ma Dengan Menggunakan Aplikasi Heyzine. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika Al-Qalasadi*, 8(1), 113-121. <https://doi.org/10.32505/qalasadi.v8i1.8368>
- Munif Nugroho, A., Budi Waluyo, S., & Nur Cahyono, A. (2019). Kemampuan Berpikir Kreatif ditinjau dari Adversity Quotient pada Pembelajaran TPACK. PRISMA. *Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 2, 40-45. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/>
- Nafiah, N., Ghufron, S., Hartatik, S., Mariati, P., Djazilan, S., & Sudarto, S. (2023). Pelatihan Pembuatan Bahan Ajar

- Flipbook dengan Aplikasi Canva dengan Bagi Guru Sekolah Dasar di Magetan. *Indonesia Berdaya*, 5(1), 101-112. <https://doi.org/10.47679/ib.2024647>
- Najuah, Lukitoyo, & Wirianti. (2020). Modul Elektronik: Prosedur Penyusunan dan Aplikasinya. In *Yayasan Kita Menulis*.
- Novilia, R. (2021). Pengaruh Model Blended Learning Dengan Pendekatan Tpack (Technological Pedagogical and Content Knowledge) Berbantuan Elearning Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis. *Repository.Radenintan.Ac.Id*, 8. http://repository.radenintan.ac.id/16698/1/SKRIPSI_1-2.pdf
- Okpatrioka Okpatrioka. (2023). Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, 1(1), 86-100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>
- Perubahan, K. (2024). *Jurnal Humanitas Penggunaan E-Modul Berbasis Aplikasi Heyzine Flipbook untuk Sejarah Abad XXI*.
- Pramesti, O. B., Supeno, S., & Astutik, S. (2020). Pengaruh Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Terhadap Kemampuan Komunikasi Ilmiah dan Hasil Belajar Fisika Siswa SMA. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya (JIFP)*, 4(1), 21-30. <https://doi.org/10.19109/jifp.v4i1.5612>
- Purnawati, W., Maison, M., & Haryanto, H. (2020). E-LKPD Berbasis Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): Sebuah Pengembangan Sumber Belajar Pembelajaran Fisika. *Tarbawi : Jurnal Ilmu Pendidikan*, 16(2), 126-133. <https://doi.org/10.32939/tarbawi.v16i2.665>
- Putri, N. A. (2023). *Analisis Kemampuan Komunikasi Ilmiah Dan Representasi Peserta Didik Menggunakan Model Guided Discovery Learning Pada Materi Sistem Reproduksi Manusia Di Smpn 7 Bandar Lampung*. 1-23.
- Putri, S. K., Annas, F., & Kunci, K. (2024). *Perancangan Media*

- Pembelajaran Biologi Kelas XI Menggunakan Heyzine untuk Meningkatkan Konsentrasi Belajar Siswa.* 03(02), 116–131.
- Qamariah, N., & Windiyani, T. (2023). Pengembangan E-Modul Berbasis Flip Pdf Professional Pada Materi Pecahan. *Didaktik : Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 9(2), 1274–1283. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v9i2.765>
- Rahmawati, F. P., & Khoirurrosyid, M. (2022). Sosialisasi Pembelajaran Berbasis Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) dan Kecakapan Abad 21 pada Guru MI Muhammadiyah Kecamatan Miri. *Bima Abdi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 69–77. <https://doi.org/10.53299/bajpm.v2i2.198>
- Rambe, K. R., & Pahlevi, M. R. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah pada Materi Hidrolisis Garam di SMA. *Journal on Teacher Education*, 4, 881–889.
- Rayyan, A. &. (2022). Pengembangan E-Modul Berbasis TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge)Pada Materi Gerak Parabola Kelas X Untuk SMA/MA. *UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH*, 8.5.2017, 2003–2005.
- Rini, A. P., Firmansyah, N. F., Widiastuti, N., Christyowati, Y. I., & Fatirul, A. N. (2023). Pendekatan Terintegrasi dalam Pengembangan Kurikulum Abad 21. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik (JIPH)*, 2(2), 171–182. <https://doi.org/10.55927/jiph.v2i2.3942>
- Rizal, & P., & Rahayu. (2021). *Pengembangan E-Modul Berbasis Etnomatematika*. 2(2).
- Santoso, E., Sugiyanti, S., & Pramasdyah Sari, A. S. (2023). Pengembangan E-modul Berbasis Problem based learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa SMP Materi Statistika. *JEID: Journal of Educational Integration and Development*, 3(2), 103–113. <https://doi.org/10.55868/jeid.v3i2.286>
- Setiawan, B. A. (2022). *Pengaruh Model Pembelajaran Prediction, Observation, Explanation, Elaboration, Write*,

- dan Evaluation (POE2WE) Terhadap Kemampuan Komunikasi Ilmiah Siswa pada Konsep Gelombang Bunyi.*
- Sholeh, B., Hufad, A., & Fathurrohman, M. (2023). Pemanfaatan E-Modul Interaktif dalam Pembelajaran Mandiri Sesuai Kapasitas Siswa. *Risalah: Jurnal Pendidikan dan Studi Islam*, 9(2), 2614–3275. https://doi.org/10.31943/jurnal_risalah.v9i2.458.
- Sugiyono. (2013). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D.*
- Suryani. (2022). Biogenerasi. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 7(1), 91–98.
- Suwarni, L. I. (2023). ANALISIS KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA SMA DALAM MODEL PEMBELAJARAN SEARCH, SOLVE, CREATE AND SHARE (SSCS) PADA MATERI GERAK LURUS. In *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam: Vol. VIII* (Nomor I).
- Ummiah, S., & Fuadiyah, S. (2024). Pengaruh Model Pembelajaran Discovery Learning Terhadap Kemampuan Komunikasi Ilmiah Peserta Didik Pada Materi Jaringan Tumbuhan Di Kelas XI SMA Negeri 2 Bungo. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 7527–7542. <https://doi.org/10.31004/jptam.v8i1.13532>
- Utami, I. S., Budi, S., & Hafid, A. (2023). Development of E-Module as an Instructional Media for Students with Hearing Impairments. *Journal of Education Science and Technology*, 9(1), 1–7.
- Widda Taslimah Alfani, Esmar Budi, F. B. (2022). *Pengembangan E-Modul Berbasis Tpack Pada Materi Gelombang SMA Kelas XI. November 2024.*
- Widiazizah, I., Fatah, A., & Rahayu, I. (2022). Pengembangan E-Modul Berbasis Technological Pedagogical and Content Knowledge (Tpack) Dalam Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah. *ARITMATIKA: Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 3(2), 95–107.
- Wulansari, & Kantun. (2018). PENGEMBANGAN E-MODUL PEMBELAJARAN EKONOMI MATERI PASAR MODAL UNTUK SISWA KELAS XI IPS MAN 1 JEMBER TAHUN

AJARAN 2016/2017. *jurnal pendidikan ekonomi*, 282.
Yuniandriyani, E., Muhammin, & Wiwik Ernawati, Md. (2022).
Pengembangan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK
untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah
pada Materi Hidrolisis Garam di SMA. *Journal on Teacher
Education*, 4(2), 281–292.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar Wawancara dengan Guru Fisika

LEMBAR WAWANCARA

Satuan Pendidikan :SMA Negeri 1 Jogorogo
Nama Guru :Suci Kurnia Febriani, S.Pd.
Observer :Miftahida Pratama Mareta
Hari, Tanggal :5 Februari 2025

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Bagaimana biasanya Bapak/Ibu menyampaikan materi fisika di kelas?	Umumnya saya menggunakan metode ceramah dan diskusi. Kadang ada demonstrasi atau video pendek, tapi sebagian besar masih berpusat pada penjelasan lisan dan LKS
2	Dalam proses pembelajaran, bagian mana yang menurut Bapak/Ibu paling menantang bagi siswa?	Ketika mereka diminta menjelaskan kembali apa yang sudah dipelajari. Baik secara lisan maupun tulisan, mereka kadang masih bingung menyusun kalimat atau menjalaskan konsep secara runtut.
3	Bagaimana cara siswa biasanya merespons pertanyaan terbuka atau saat diminta pendapat dalam diskusi kelas?	Mereka cukup pasif. Kadang menjawab singkat, tapi jarang yang menjelaskan lebih mendalam. Sepertinya masih kurang percaya diri atau takut salah.
4	Apakah Bapak/Ibu pernah menghadapi kesulitan saat membimbing siswa menyusun laporan atau menjelaskan hasil praktikum?	Iya, laporan praktikum kadang kurang terstruktur. Mereka menulis seperti cerita, belum terbiasa dengan format ilmiah seperti latar belakang, tujuan, hasil dan kesimpulan.
5	Menurut Bapak/Ibu, bagaimana keterampilan siswa dalam menyampaikan pemahamannya secara tertulis maupun lisan selama ini?	Masih perlu banyak pembiasaan. Mereka punya potensi, tapi belum terlatih untuk menyampaikan ide dengan bahasa yang sistematis dan ilmiah.
6	Kalau siswa diberikan kesempatan untuk menyampaikan ide atau hasil pengamatan dalam bentuk presentasi atau	Sebagian besar masih malu-malu atau bingung memulainya. Ada yang berani bicara, tapi sering tidak runtut. Saya rasa mereka masih

	diskusi, biasanya mereka seperti apa?	belum terbiasa membangun argumen secara sistematis.
7	Apakah Bapak/Ibu melihat bahwa siswa sudah terbiasa menghubungkan konsep fisika dengan situasi nyata atau kehidupan sehari-hari?	Belum banyak, kadang mereka hanya menjawab berdasarkan hafalan, belum mampu mengaitkan dengan konteks atau contoh nyata di sekitar mereka.
8	Apakah teknologi sudah menjadi bagian dari pembelajaran fisika di kelas Bapak/Ibu?	Belum maksimal. Saya masih sering menggunakan buku paket dan LKS. Kalau pun menggunakan video atau gambar, masih sebatas pemutaran saja, belum interaktif.
9	Apakah Bapak/Ibu pernah mencoba menggunakan media berbasis teknologi untuk mendukung komunikasi ilmiah siswa? Jika belum, apakah terbuka untuk mencobanya?	Belum terlalu sering. Kalau ada yang mudah digunakan dan sesuai dengan kebutuhan siswa, tentu saya tertarik mencobanya.
10	Menurut Bapak/Ibu, pembelajaran seperti apa yang dibutuhkan siswa saat ini untuk membantu mereka lebih aktif dan terampil berkomunikasi ilmiah?	Pembelajaran yang interaktif dan melibatkan teknologi, supaya mereka bisa belajar lewat pengalaman langsung dan lebih percaya diri dalam menyampaikan ide.

Lampiran 2. Lembar Observasi

LEMBAR OBSERVASI PRA PENELITIAN

Peneliti : Miftahida Pratama Mareta
Judul Penelitian : Pengembangan E-modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA
Lokasi Observasi : SMA Negeri 1 Jogorogo
Tanggal : 5 Februari 2025

A. Informasi Umum

Nama sekolah : SMA Negeri 1 Jogorogo

Akreditasi sekolah : A

Jumlah kelas IPA : 3 kelas

Dukungan fasilitas teknologi:

- Akses Internet : [✓] Ada [] Tidak Ada

- Proyektor : [✓] Ada [] Tidak Ada

F. Kondisi Lingkungan Belajar

Aspek yang Diamati	Pilihan
Kebersihan dan kerapian ruang kelas	[✓] Sangat Baik [] Baik [] Cukup [] Kurang
Pencahayaan ruang kelas	[✓] Sangat Baik [] Baik [] Cukup [] Kurang
Sirkulasi udara dan kenyamanan ruangan	[✓] Sangat Baik [] Baik [] Cukup [] Kurang
Penataan tempat duduk	[] Sangat Baik [✓] Baik [] Cukup [] Kurang
Tingkat kebisingan saat pembelajaran berlangsung	[] Sangat Baik [] Baik [] Cukup [✓] Kurang
Gangguan dari luar kelas	[] Sangat Baik [] Baik [] Cukup [✓] Kurang

G. Proses Pembelajaran

1. Metode Pembelajaran yang Digunakan Guru:

- [✓] Ceramah
- [✓] Diskusi
- [] Eksperimen
- [] Simulasi
- [✓] Lainnya: Tanya jawab

2. Media Pembelajaran yang Digunakan:

- Buku teks: [✓] Ya [] Tidak
- Wordwall / sejenis: [] Ya [✓] Tidak

- Lainnya: LKS cetak
3. Interaksi Guru dan Siswa:
- Guru memberi kesempatan bertanya: [✓] Ya Cukup Kurang Tidak
 - Siswa aktif dalam diskusi: Ya Cukup Kurang Tidak
 - Tugas berbasis pemecahan masalah: Ya Cukup Kurang Tidak

H. Catatan Hasil Observasi

Pembelajaran fisika di kelas berlangsung cukup tertib dan terstruktur, namun masih didominasi metode ceramah dan penggunaan LKS tanpa dukungan teknologi interaktif. Interaksi antar guru dan siswa tergolong cukup, meski sebagian besar siswa masih pasif dan tampak kesulitan dalam menyampaikan pendapat secara runtut, baik lisan maupun tulisan. Siswa belum terbiasa mengaitkan konsep dengan situasi nyata maupun menyusun laporan secara ilmiah, sehingga keterampilan komunikasi ilmiah mereka masih perlu ditingkatkan melalui pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual.

**Lampiran 3. Rubrik Penilaian Bahan Ajar
Kisi-Kisi Lembar Angket Validasi E-Modul Fisika Berbasis
TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine Fipbook Maker**

Berikut disajikan kisi-kisi lembar angket validasi e-modul Fisika berbasis TPACK menggunakan aplikasi Heyzine Flipbook Maker. Kisi-kisi ini disusun untuk memperoleh penilaian dari para validator terhadap kualitas e-modul yang dikembangkan, meliputi aspek keterampilan komunikasi ilmiah, materi, desain, dan bahasa.

No	Aspek	Indikator	Butir
1	Keterampilan komunikasi ilmiah	Pencarian informasi (kemampuan memperoleh informasi yang dibutuhkan melalui teks, ilustrasi, atau fitur interaktif yang tersedia)	1
		Membaca ilmiah (kemampuan memilih informasi penting melalui teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan)	2
		Mendengar dan mengamati (kemampuan melakukan observasi sistematis dan mencatat data hasil pengamatan atau diskusi secara akurat)	3
		Menulis ilmiah (kemampuan menyusun laporan atau artikel ilmiah dengan struktur yang sesuai dan jelas)	4
		Representasi informasi (kemampuan mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti table yang mudah dipahami)	5
		Presentasi pengetahuan (kemampuan menyampaikan informasi secara verbal menggunakan bahasa yang jelas)	6

2	Materi	Kelayakan isi (kesesuaian tujuan, kelengkapan materi, keakuratan konsep)	7,8,9
		Kedalaman materi (kelengkapan konsep, penyajian runtut, analisis, kesesuaian tingkat siswa)	10,11, 12,13
		Penyajian (sistematis, media pendukung, latihan soal, rangkuman, interaktif)	14,15, 16,17, 18
		Kelayakan kontekstual (relevansi dengan kehidupan sehari-hari dan penerapan konsep)	19,20
3	Desain	Efek bahan ajar terhadap strategi pembelajaran (keterlibatan siswa, struktur, berpikir kritis, motivasi)	21,22, 23,24
		Tampilan visual (warna, huruf, gambar/animasi, kemudahan penggunaan)	25,26, 27,28
4	Bahasa	Kesesuaian bahasa (tingkat perkembangan siswa, kaidah bahasa, konsistensi istilah, keterbacaan)	29,30, 31,32

A. Rubrik Aspek Keterampilan Komunikasi Ilmiah

N o	Indikat or	Skor 4 (SS)	Skor 3 (S)	Skor 2 (TS)	Skor 1 (STS)
1	Pencari an informa si	E-modul sangat memfasilit asi pencarian informasi melalui beragam media (teks, ilustrasi, fitur	E-modul memfasil itasi pencarian informasi melalui lebih dari satu media, meskipun ada bagian	E-modul kurang memfasilita si pencarian informasi; hanya satu media yang dominan dan kurang mendukung interaktivita s.	E-modul tidak memfasilita si pencarian informasi separa mandiri; informasi sulit ditemukan oleh siswa.

		interaktif) yang saling mendukung dan mudah diakses.	yang kurang optimal.		
2	Membaca ilmiah	Mengidentifikasi dan menjelaskan informasi penting secara logis dan kritis.	Menyebutkan informasi penting dengan penjelasan yang cukup.	Menyebutkan informasi penting tanpa penjelasan	Menyebutkan informasi yang tidak relevan.
3	Mendengar dan mengamati	Mencatat data hasil observasi/diskusi yang lengkap, akurat, dan disusun sistematis.	Data cukup lengkap, sedikit kurang sistematis.	Data seadanya, pencatatan kurang lengkap atau akurat.	Data tidak relevan dengan observasi/di suksi.
4	Menulis ilmiah	Tulisan ilmiah runtut, sistematis, sesuai kaidah, dan analisis mendalam.	Tulisan cukup runtut, analisis tepat tetapi kurang lengkap.	Tulisan ada kesalahan struktur atau analisis kurang mendalam.	Tulisan tidak terstruktur, sulit dipahami, banyak bagian hilang
5	Representasi informasi	E-modul sangat memfasilitasi siswa mengubah data hasil pengamatan menjadi	E-modul memfasilitasi siswa mengubah data ke bentuk visual, meskipun	E-modul kurang memfasilitasi siswa dalam merepresentasikan data; panduan	E-modul tidak menyediakan aktivitas atau arahan untuk merepresentasikan data

		bentuk visual seperti tabel atau grafik secara mandiri dan terarah.	panduan yang belum sepenuhnya jelas.	minim atau aktivitas kurang mendukung.	dalam bentuk visual.
6	Presentasi pengetahuan	E-modul memberikan aktivitas atau tugas yang mendorong siswa menyampaikan pengetahuan secara lisan maupun tulisan dengan struktur yang jelas dan sistematis.	E-modul menyediakan kesempatan untuk presentasi lisan dan tulisan, namun struktur atau keterarahanannya kurang maksimal.	E-modul hanya sedikit memberi ruang untuk presentasi lisan maupun tulisan, tanpa arahan yang jelas.	E-modul tidak memuat aktivitas presentasi lisan maupun tulisan sama sekali.

B. Aspek Materi

No	Indikator	Skor 4 (SS)	Skor 3(S)	Skor 2 (TS)	Skor 1 (STS)
Kelayakan Isi					
7	Kesesuaian tujuan pembelajaran	Tujuan pembelajaran sepenuhnya sesuai	Sebagian besar tujuan sesuai	Tujuan kurang sesuai dengan capaian.	Tujuan tidak sesuai dengan capaian.

		dengan capaian.	dengan capaian.		
8	Kelengkapan materi	Materi dalam e-modul mencakup berbagai elemen penting yang mendukung capaian pembelajaran dengan cakupan yang memadai.	Materi mencakup sebagian besar elemen penting, meskipun masih ada bagian yang dapat dilengkapi.	Materi hanya mencakup sebagian kecil elemen penting dan belum cukup mendukung capaian pembelajaran.	Materi tidak mencerminkan elemen penting yang sesuai dengan capaian pembelajaran.
9	Keakuratan konsep	Semua konsep akurat, sesuai teori, tanpa potensi salah paham.	Sebagian besar konsep akurat, sedikit bagian berpotensi salah.	Banyak konsep kurang akurat, membingungkan.	Banyak konsep salah dan menyesatkan.
Kedalaman materi					
10	Kelengkapan konsep (definisi, teori, contoh, soal)	Materi menyajikan konsep-konsep utama secara jelas, mencakup	Materi menyajikan sebagian besar konsep penting, meskipun ada	Materi kurang lengkap dalam menjelaskan konsep; sebagian elemen penting	Materi tidak menyajikan konsep-konsep utama yang diperlukan

		p definisi, teori, dan contoh yang mendukung pemahaman.	bagian yang kurang dalam penjelasan atau contoh.	tidak disertakan.	
1 1	Penyajian runtut	Materi disusun sangat runtut dari konsep dasar ke kompleks.	Materi cukup runtut, ada sedikit bagian tidak berurutan.	Materi kurang runtut, sering loncat-loncat.	Materi tidak runtut, membingungkan.
1 2	Analisis materi	Materi membahas hingga tahap penerapan dan analisis mendalam.	Materi membahas penerapan, analisis kurang mendalam.	Materi hanya membahas konsep dasar tanpa analisis.	Materi dangkal, hanya definisi tanpa penerapan atau analisis.
1 3	Kesesuaian tingkat siswa	Materi sesuai karakteristik dan kemampuan siswa.	Materi cukup sesuai, ada bagian terlalu sulit/mudah.	Banyak bagian tidak sesuai tingkat siswa.	Materi tidak sesuai sama sekali dengan tingkat siswa.
Penyajian					
1 4	Penyajian sistematis	Materi disusun sistematis	Penyajian cukup sistemati	Penyajian kurang sistematis,	Penyajian tidak

		, mudah diikuti.	s, beberapa bagian kurang.	membingungkan.	sistematis sama sekali.
1 5	Media pendukung (gambar, animasi, video)	Media pendukung sangat relevan dan memperjelas konsep (gambar, animasi, video)	Media pendukung ada, namun belum optimal.	Media pendukung kurang relevan.	Tidak ada media pendukung atau tidak relevan.
1 6	Latihan soal dan kunci jawaban	Latihan soal dan kunci jawaban lengkap, sesuai materi.	Latihan soal cukup lengkap, kunci jawaban kurang.	Latihan soal ada tapi tidak lengkap atau kurang sesuai.	Tidak ada latihan soal atau kunci jawaban.
1 7	Rangkuman materi	Rangkuman lengkap, jelas, dan membantu siswa memahami materi.	Rangkuman ada, tetapi kurang mendalam.	Rangkuman terbatas dan kurang membantu.	Tidak ada rangkuman atau sangat tidak membantu.
1 8	Interaktivitas e-modul	E-modul sangat interaktif, siswa terlibat aktif.	E-modul cukup interaktif.	E-modul kurang interaktif.	E-modul tidak interaktif sama sekali.
Kelayakan kontekstual					

1 9	Relevansi dengan kehidupan sehari-hari	Materi disajikan dengan mengaitkan berbagai contoh nyata yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa.	Materi disajikan dengan mengaitkan berbagai contoh nyata yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa.	Materi hanya sedikit mengaitkan dengan kehidupan sehari-hari, dengan contoh yang kurang relevan.	Materi tidak menunjukkan hubungan dengan kehidupan sehari-hari.
2 0	Penerapan konsep dalam kehidupan nyata	E-modul menyajikan contoh penerapan konsep dalam berbagai situasi kehidupan nyata secara kontekstual.	E-modul menyertakan penerapan konsep dalam beberapa situasi nyata, meskipun masih terbatas.	E-modul hanya sedikit menyajikan penerapan konsep, atau kurang jelas dalam konteksnya.	E-modul tidak menyajikan penerapan konsep dalam kehidupan nyata.

C. Aspek Desain

No	Aspek	Skor 4(SS)	Skor 3(S)	Skor 2(TS)	Skor 1(STS)
Efek Bahan Ajar terhadap Strategi Pembelajaran					
2 1	Keterlibatan siswa dalam pembelajaran	Penyajian sangat mendukung keterlibatan	Penyajian cukup mendukung	Penyajian kurang mendukung keterlibatan siswa.	Penyajian tidak mendukung keterlibatan

		an aktif siswa.	keterlibatan siswa.		n siswa sama sekali.
2 2	Struktur bahan ajar	Struktur sangat jelas, sistematis , mudah diikuti.	Struktur cukup jelas, meskipun ada kekurangan kecil.	Struktur kurang jelas, membingungkan di beberapa bagian.	Struktur tidak jelas dan membingungkan seluruhnya.
2 3	Kemampuan meningkatkan berpikir kritis	Bahan ajar sangat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.	Bahan ajar cukup meningkatkan berpikir kritis siswa.	Bahan ajar kurang meningkatkan berpikir kritis siswa.	Bahan ajar tidak meningkatkan berpikir kritis sama sekali.
2 4	Kemampuan meningkatkan motivasi belajar	Bahan ajar sangat meningkatkan motivasi belajar siswa.	Bahan ajar cukup meningkatkan motivasi siswa.	Bahan ajar kurang meningkatkan motivasi siswa.	Bahan ajar tidak meningkatkan motivasi belajar siswa.
Tampilan visual					
2 5	Warna dalam bahan ajar	Warna sangat proporsional, menarik, dan mendukung	Warna cukup menarik, sedikit kurang konsisten.	Warna kurang menarik dan tidak terlalu mendukung .	Warna tidak menarik dan mengganggu pembelajaran.

		pembelajaran.			
2 6	Jenis dan ukuran huruf	Huruf sangat tepat, konsisten, mudah dibaca, menarik.	Huruf cukup tepat dan cukup konsisten.	Huruf kurang tepat, sulit dibaca di beberapa bagian.	Huruf tidak tepat, tidak konsisten, sulit dibaca.
2 7	Gambar/animasi dalam bahan ajar	Gambar dan animasi sangat relevan, mendukung pemahaman.	Gambar dan animasi cukup relevan.	Gambar dan animasi kurang relevan.	Gambar dan animasi tidak relevan sama sekali.

D. Aspek Kebahasaan

No	Aspek	Skor 4(SS)	Skor 3(S)	Skor 2(TS)	Skor 1(STS)
Kesesuaian bahasa					
2 9	Kesesuaian dengan tingkat perkembangan siswa	Bahasa sangat sesuai dengan tingkat perkembangan intelektual siswa, mudah dipahami, menarik.	Bahasa cukup sesuai dengan perkembangan siswa, sebagian besar mudah dipahami.	Bahasa kurang sesuai dengan perkembangan siswa, beberapa bagian sulit dipahami.	Bahasa tidak sesuai dengan perkembangan siswa, membungkungkan dan tidak menarik.
3 0	Ketepatan kaidah	Tata bahasa cukup tepat, sangat	Tata bahasa cukup tepat, sebagian	Banyak kalimat kurang	Tata bahasa tidak

	bahasa Indonesia	tepat, kalimat jelas, runtut, dan sesuai kaidah EYD.	besar kalimat sudah jelas dan sesuai EYD.	tepat dan kurang sesuai EYD.	sesuai EYD, kalimat tidak jelas dan membingungkan.
3 1	Konsistensi penggunaan istilah	Istilah digunakan sangat konsisten, tidak ada perubahan makna atau istilah membingungkan.	Istilah cukup konsisten, hanya ada sedikit ketidakconsistenan tanpa mengganggu pemahaman .	Istilah kurang konsisten, beberapa bagian membingungkan.	Istilah tidak konsisten, banyak perubahan makna yang membingungkan.
3 2	Keterbacaan pesan	Kalimat sangat mewakili isi pesan, jelas, komunikatif, dan efektif.	Kalimat cukup mewakili isi pesan, masih dapat dipahami dengan baik.	Kalimat kurang mewakili isi pesan, pemahaman agak terganggu.	Kalimat tidak mewakili isi pesan, sulit dipahami dan membingungkan.

Lampiran 4. Lembar Validasi bahan ajar

LEMBAR PENILAIAN ANGKET VALIDASI E-MODUL PEMBELAJARAN PENGEMBANGAN E-MODUL FISIKA BERBASIS TPACK MENGGUNAKAN APLIKASI HEYZINE PADA MATERI GELOMBANG BUNYI UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA KELAS XI SMA

Nama Penilai :

Jabatan :

Tanggal :

Petunjuk Penilaian:

1. Mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan penilaian terhadap e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA yang telah dikembangkan.
2. Penilaian validasi terdiri dari 4 aspek :
 - a. Keterampilan komunikasi ilmiah
 - b. Materi
 - c. Desain
 - d. Bahasa
3. Dimohon Bapak Ibu memberi penilaian skor 4,3,2, atau 1 pada butir – butir bahan ajar e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan kemampuan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA dengan memberi tanda centang (✓) pada kolom penilaian yang tersedia.

Skor	kategori	Kriteria penilaian
-------------	-----------------	---------------------------

4	Sangat Setuju (SS)	Pernyataan dinilai sangat baik , seluruh indikator tercapai dengan kualitas sangat tinggi, konsisten, dan tanpa kekurangan.
3	Setuju (S)	Pernyataan dinilai baik , sebagian besar indikator tercapai dengan kualitas baik, ada sedikit kekurangan tetapi tidak mengganggu keseluruhan mutu.
2	Tidak Setuju (TS)	Pernyataan dinilai kurang baik , banyak indikator yang belum tercapai, kualitas perlu diperbaiki secara signifikan.
1	Sangat Tidak Setuju (STS)	Pernyataan dinilai tidak baik , indikator tidak tercapai, kualitas sangat rendah, dan memerlukan perbaikan menyeluruh.

4. Saran – saran yang Bapak/Ibu berikan, mohon dituliskan pada naskah yang perlu direvisi atau dituliskan pada lembar saran yang telah disediakan.

Petunjuk Pengisian :

Bapak/Ibu Dosen dimohon untuk memberikan penilaian terhadap kualitas bahan ajar e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine* dengan cara memberi tanda *ceklis* (✓) pada kolom yang sesuai berdasarkan pernyataan kisi-kisi di atas.

Gunakan pedoman skala berikut:

SS (4) = Sangat Setuju

S (3) = Setuju

TS (2) = Tidak Setuju

STS (1)= Sangat Tidak Setuju

A. Lembar Validasi Aspek Keterampilan Komunikasi Ilmiah

N o	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			S S	S S	T S	S T S
1	Pencarian informasi	E-modul memfasilitasi siswa untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan melalui teks, ilustrasi, atau fitur interaktif yang tersedia.				
2	Membaca ilmiah	E-modul menyediakan bacaan atau aktivitas yang mendorong siswa melakukan teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan ilmiah.				
3	Mendengar dan mengamati	E-modul menyajikan aktivitas yang memungkinkan siswa melakukan observasi sistematis dan mencatat data hasil pengamatan atau diskusi secara akurat.				

4	Menulis ilmiah	E-modul memberikan panduan atau latihan untuk membantu siswa menyusun laporan atau artikel ilmiah dengan struktur yang sesuai dan jelas.				
5	Representasi informasi	E-modul menyediakan aktivitas yang memungkinkan siswa mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti tabel atau grafik.				
6	Presentasi pengetahuan	E-modul memberikan tugas atau aktivitas yang mendukung siswa menyampaikan pengetahuan secara lisan maupun tulisan dengan bahasa yang runtut dan sistematis				

B. Lembar Validasi Aspek Materi

N o	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian

			S S	S	T S	S T S
Kelayakan isi						
7	Kesesuaian tujuan pembelajaran	Materi dalam e-modul disusun mengacu pada tujuan pembelajaran yang berlaku di tingkat SMA.				
8	Kelengkapan materi	Materi dalam e-modul mencakup berbagai elemen yang relevan dengan capaian pembelajaran				
9	Keakuratan konsep	Materi dalam e-modul disajikan berdasarkan prinsip dan konsep fisika yang sesuai dengan sumber yang dapat dipercaya.				
Kedalaman materi						
1 0	Kelengkapan konsep (definisi, teori, contoh, soal)	Materi menyajikan konsep seperti definisi, teori, dan contoh soal sesuai kebutuhan pembelajaran.				
1 1	Penyajian runtut	Materi disusun secara bertahap dari konsep dasar menuju konsep yang lebih kompleks				
1 2	Analisis materi	Materi memberikan ruang bagi eksplorasi konsep lebih lanjut dan penerapan dalam konteks tertentu.				
1 3	Kesesuaian tingkat siswa	Materi disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan belajar siswa SMA.				
Penyajian						
1 4	Penyajian sistematis	Penyajian materi mengikuti alur yang sistematis dan logis sehingga mudah diikuti.				
1 5	Media pendukung (gambar, animasi, video)	E-modul dilengkapi dengan media pendukung yang sesuai dan berfungsi memperjelas materi.				

1 6	Latihan soal dan kunci jawaban	E-modul menyajikan latihan soal beserta kunci jawaban yang selaras dengan isi materi.				
1 7	Rangkuman materi	e-modul menyediakan rangkuman yang merangkum poin-poin penting dari materi yang telah disampaikan.				
1 8	Interaktivitas e-modul	E-modul memuat aktivitas atau fitur yang memungkinkan keterlibatan aktif siswa dalam proses belajar.				
Kelayakan kontekstual						
1 9	Relevansi dengan kehidupan sehari-hari	Materi disajikan dengan mengaitkan beberapa contoh atau fenomena kehidupan sehari-hari.				
2 0	Penerapan konsep dalam kehidupan nyata	E-modul memberikan contoh penerapan konsep dalam situasi yang relevan dengan kehidupan nyata.				

C. Lembar Validasi Aspek Desain

N o	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			S S	S S	T S	S T S
Efek Bahan Ajar terhadap Strategi Pembelajaran						
2 1	Keterlibatan siswa dalam pembelajaran	Penyajian dalam e-modul dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran.				
2 2	Struktur bahan ajar	Struktur e-modul disusun secara logis dan sistematis sehingga mudah untuk diikuti oleh siswa				

2 3	Kemampuan meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah	E-modul memfasilitasi siswa untuk mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah melalui berbagai aktivitas				
2 4	Kemampuan meningkatkan motivasi belajar	E-modul dirancang untuk memotivasi siswa dalam mengikuti proses pembelajaran secara aktif dan mandiri.				
Tampilan visual						
2 5	Warna dalam bahan ajar	Pemilihan warna dalam e-modul disesuaikan untuk menunjang keterbacaan dan kenyamanan visual.				
2 6	Jenis dan ukuran huruf	Jenis dan ukuran huruf dalam e-modul dirancang agar konsisten dan mudah dibaca oleh siswa.				
2 7	Gambar/animasi dalam bahan ajar	Gambar dan/atau animasi dalam e-modul disertakan untuk memperjelas materi dan mendukung pemahaman konsep.				
2 8	Kemudahan penggunaan modul	E-modul dapat digunakan dengan mudah tanpa memerlukan keterampilan teknis khusus dari pengguna.				

D. Lembar Validasi Aspek Bahasa

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			S S	S S	T S	S T S
Kesesuaian bahasa						
2 9	Kesesuaian dengan tingkat perkembangan siswa	Bahasa dalam e-modul disesuaikan dengan tingkat perkembangan intelektual dan kemampuan membaca siswa.				

3 0	Ketepatan kaidan bahasa indonesia	Tata bahasa dan struktur kalimat dalam e-modul mengikuti kaidah Bahasa Indonesia yang baku dan runtut.				
3 1	Konsistensi penggunaan istilah	Istilah yang digunakan dalam e-modul konsisten dan tidak menimbulkan kebingungan makna bagi siswa.				
3 2	Keterbacaan pesan	Kalimat dalam e-modul disusun secara komunikatif dan dapat mewakili isi materi yang disampaikan.				

Komentar saran :

Kesimpulan Penilaian

Setelah mengisi tabel penelitian, dimohon Bapak/Ibu melingkari angka dibawah ini sesuai dengan penilaian Bapak/Ibu

E-Modul Fisika Berbasis TPACK:

1. Kurang baik, sehingga belum dapat digunakan dan masih memerlukan konsultasi
2. Cukup baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan banyak revisi
3. Baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan sedikit revisi
4. Sangat baik, sehingga dapat digunakan tanpa revisi

Semarang, 2025

Validator

NIP.

Rekapitulasi Hasil Penilaian Angket Validasi Bahan Ajar

No	Aspek yang Dinilai	Jumlah Butir Pernyataan	Skor Maksimal	Skor Perolehan	Persentase (%)	Kategori
1	Keterampilan komunikasi ilmiah	6	24	....	....	....
2	Materi	14	56	....	....	....
3	Desain	8	32	....	....	....
4	Bahasa	4	16	....	....	....
Jumlah		32	128	....	....	....

Keterangan :

- **Skor Maksimal :**
 - Skor maksimal = jumlah butir x skor tertinggi (4)
- **Skor Perolehan :**
 - Jumlah skor yang diperoleh validator untuk masing-masing aspek.
- **Persentase (%) :**
 - Persentase = $(\text{Skor Perolehan} \div \text{Skor Maksimal}) \times 100\%$
- **Kategori :**

Percentase kelayakan	Interpretasi
81% < NP ≤ 100%	Sangat Layak (SL)
61% < NP ≤ 80%	Layak (L)
41% < NP ≤ 60%	Cukup Layak (CL)
21% < NP ≤ 40%	Kurang Layak (KL)
0% NP 20%	Tidak Layak (TL)

Kesimpulan Validasi Bahan Ajar

- Sangat Layak, tidak perlu revisi
- Layak, revisi kecil diperlukan
- Cukup Layak, perlu revisi moderat
- Kurang Layak, memerlukan konsultasi
- Tidak layak, perlu revisi besar

Lampiran 5. Hasil Penilaian Angket Validasi Ahli 1

**LEMBAR PENILAIAN ANGKET VALIDASI E-MODUL PEMBELAJARAN
PENGEMBANGAN E-MODUL FISIKA BERBASIS TPACK MENGGUNAKAN APLIKASI HEYZINE
PADA MATERI GELOMBANG BUNYI UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI
ILMIAH SISWA KELAS XI SMA**

Nama Penilai : *Agus Sudarmanto*
Jabatan : *Dosen Pendidikan*
Tanggal : *8-5-2015*

Petunjuk Penilaian:

1. Mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan penilaian terhadap e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA yang telah dikembangkan.
2. Penilaian validasi terdiri dari 4 aspek :
 - a. Keterampilan komunikasi ilmiah
 - b. Materi
 - c. Desain
 - d. Bahasa
3. Dimohon Bapak Ibu memberi penilaian skor 4,3,2, atau 1 pada butir – butir bahan ajar e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan kemampuan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA dengan memberi tanda centang (✓) pada kolom penilaian yang tersedia.

Skor	kategori	Kriteria penilaian
4	Sangat Setuju (SS)	Pernyataan dinilai sangat baik, seluruh indikator tercapai dengan kualitas sangat tinggi, konsisten, dan tanpa kekurangan.
3	Setuju (S)	Pernyataan dinilai baik, sebagian besar indikator tercapai dengan kualitas baik, ada sedikit kekurangan tetapi tidak mengganggu keseluruhan mutu.
2	Tidak Setuju (TS)	Pernyataan dinilai kurang baik, banyak indikator yang belum tercapai, kualitas perlu diperbaiki secara signifikan.
1	Sangat Tidak Setuju (STS)	Pernyataan dinilai tidak baik, indikator tidak tercapai, kualitas sangat rendah, dan memerlukan perbaikan menyeluruh.

4. Saran – saran yang Bapak/Ibu berikan, mohon dituliskan pada naskah yang perlu direvisi atau dituliskan pada lembar saran yang telah disediakan.

Petunjuk Pengisian :

Bapak/Ibu Dosen dimohon untuk memberikan penilaian terhadap kualitas bahan ajar e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine* dengan cara memberi tanda *checkbox* (✓) pada kolom yang sesuai berdasarkan pernyataan kisi-kisi di atas.

Gunakan pedoman skala berikut:

SS (4) = Sangat Setuju

S (3) = Setuju

TS (2) = Tidak Setuju

STS (1) = Sangat Tidak Setuju

A. Lembar Validasi Aspek Keterampilan Komunikasi Ilmiah

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
1	Pencarian informasi	E-modul memfasilitasi siswa untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan melalui teks, ilustrasi, atau fitur interaktif yang tersedia.	✓			
2	Membaca ilmiah	E-modul menyediakan bacaan atau aktivitas yang mendorong siswa melakukan teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan ilmiah.	✓			
3	Mendengar dan mengamati	E-modul menyajikan aktivitas yang memungkinkan siswa melakukan observasi sistematis dari mencatat data hasil pengamatan atau diskusi secara akurat.	✓			
4	Menulis ilmiah	E-modul memberikan panduan atau latihan untuk membantu siswa menyusun laporan atau artikel ilmiah dengan struktur yang sesuai dan jelas.	✓			
5	Representasi informasi	E-modul menyediakan aktivitas yang memungkinkan siswa mengolah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti tabel atau grafik.		✓		
6	Presentasi pengetahuan	E-modul memberikan tugas atau aktivitas yang mendukung siswa menyampaikan pengetahuan secara lisan maupun tulisan dengan bahasa yang rurut dan sistematis	✓			

B. Lembar Validasi Aspek Materi

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
Kelayakan isi						
7	Kesesuaian tujuan pembelajaran	Materi dalam e-modul disusun mengacu pada tujuan pembelajaran yang berlaku di tingkat SMA.	✓			

8	Kelengkapan materi	Materi dalam e-modul mencakup berbagai elemen yang relevan dengan capaian pembelajaran	✓			
9	Keakuratan konsep	Materi dalam e-modul disajikan berdasarkan prinsip dan konsep fisika yang sesuai dengan sumber yang dapat dipercaya.	✓			
Kedalaman materi						
10	Kelengkapan konsep (definisi, teori, contoh, soal)	Materi menyajikan konsep seperti definisi, teori, dan contoh soal sesuai kebutuhan pembelajaran.	✓			
11	Penyajian runtut	Materi disusun secara bertahap dari konsep dasar menuju konsep yang lebih kompleks		✓		
12	Analisis materi	Materi memberikan ruang bagi eksplorasi konsep lebih lanjut dan penerapan dalam konteks tertentu.		✓		
13	Kesesuaian tingkat siswa	Materi disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan belajar siswa SMA.	✓			
Penyajian						
14	Penyajian sistematis	Penyajian materi mengikuti alur yang sistematis dan logis sehingga mudah diikuti.	✓			
15	Media pendukung (gambar, animasi, video)	E-modul dilengkapi dengan media pendukung yang sesuai dan berfungsi memperjelas materi.	✓			
16	Latihan soal dan kunci jawaban	E-modul menyajikan latihan soal beserta kunci jawaban yang selaras dengan isi materi.	✓			
17	Rangkuman materi	e-modul menyediakan rangkuman yang merangkum poin-poin penting dari materi yang telah disampaikan.	~			
18	Interaktivitas e-modul	E-modul memuat aktivitas atau fitur yang memungkinkan keterlibatan aktif siswa dalam proses belajar.	✓			
Kelayakan kontekstual						
19	Relevansi dengan kehidupan sehari-hari	Materi disajikan dengan mengaitkan beberapa contoh atau fenomena kehidupan sehari-hari.		✓		
20	Penerapan konsep dalam kehidupan nyata	E-modul memberikan contoh penerapan konsep dalam situasi yang relevan dengan kehidupan nyata.		✓		

C. Lembar Validasi Aspek Desain

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian
----	-----------	------------	-----------------

			SS	S	TS	STS
Efek Bahan Ajar terhadap Strategi Pembelajaran						
21	Keterlibatan siswa dalam pembelajaran	Penyajian dalam e-modul dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran.	✓			
22	Struktur bahan ajar	Struktur e-modul disusun secara logis dan sistematis sehingga mudah untuk diikuti oleh siswa	✓			
23	Kemampuan meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah	E-modul memfasilitasi siswa untuk mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah melalui berbagai aktivitas	✓			
24	Kemampuan meningkatkan motivasi belajar	E-modul dirancang untuk memotivasi siswa dalam mengikuti proses pembelajaran secara aktif dan mandiri.	✓			
Tampilan visual						
25	Warna dalam bahan ajar	Pemilihan warna dalam e-modul disesuaikan untuk menunjang keterbacaan dan kenyamanan visual.	✓			
26	Jenis dan ukuran huruf	Jenis dan ukuran huruf dalam e-modul dirancang agar konsisten dan mudah dibaca oleh siswa.	✓			
27	Gambar/animasi dalam bahan ajar	Gambar dan/atau animasi dalam e-modul disertakan untuk memperjelas materi dan mendukung pemahaman konsep.	✓			
28	Kemudahan penggunaan modul	E-modul dapat digunakan dengan mudah tanpa memerlukan keterampilan teknis khusus dari pengguna.	✓			

D. Lembar Validasi Aspek Bahasa

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
Kesesuaian bahasa						
29	Kesesuaian dengan tingkat perkembangan siswa	Bahasa dalam e-modul disesuaikan dengan tingkat perkembangan intelektual dan kemampuan membaca siswa.	✓			
30	Ketepatan kaidan bahasa indonesia	Tata bahasa dan struktur kalimat dalam e-modul mengikuti kaidah Bahasa Indonesia yang baku dan runut.	✓			

31	Konsistensi penggunaan istilah	Istilah yang digunakan dalam e-modul konsisten dan tidak menimbulkan kebingungan makna bagi siswa.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	Keterbacaan pesan	Kalimat dalam e-modul disusun secara komunikatif dan dapat mewakili isi materi yang disampaikan.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Komentar saran :

Kesimpulan Penilaian

Setelah mengisi tabel penelitian, dimohon Bapak/Ibu melengkapi angka dibawah ini sesuai dengan penilaian Bapak/Ibu

E-Modul Fisika Berbasis TPACK:

1. Kurang baik, sehingga belum dapat digunakan dan masih memerlukan konsultasi
2. Cukup baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan banyak revisi
3. Baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan sedikit revisi
4. Sangat baik, sehingga dapat digunakan tanpa revisi

Semarang, 8-5-2025
Validator

Agus Sularmanto

NIP.

Rekapitulasi Hasil Penilaian Angket Validasi Bahan Ajar

No	Aspek yang Dinilai	Jumlah Butir Pernyataan	Skor Maksimal	Skor Perolehan	Percentase (%)	Kategori
1	Keterampilan komunikasi ilmiah	6	24	23	95,83	Sangat layak
2	Materi	14	56	52	92,85	Sangat layak
3	Desain	8	32	32	100	Sangat layak
4	Bahasa	4	16	16	100	Sangat layak
	Jumlah	32	128	123	96,09	Sangat layak

Keterangan :

- **Skor Maksimal :**
 - Skor maksimal = jumlah butir x skor tertinggi (4)
- **Skor Perolehan :**
 - Jumlah skor yang diperoleh validator untuk masing-masing aspek.
- **Percentase (%) :**
 - Percentase = $(\text{Skor Perolehan} + \text{Skor Maksimal}) \times 100\%$
- **Kategori :**

Percentase kelayakan	Interpretasi
81% < NP ≤ 100%	Sangat Layak (SL)
61% < NP ≤ 80%	Layak (L)
41% < NP ≤ 60%	Cukup Layak (CL)
21% < NP ≤ 40%	Kurang Layak (KL)
0% NP 20%	Tidak Layak (TL)

Kesimpulan Validasi Bahan Ajar

- ✓ Sangat Layak, tidak perlu revisi
- Layak, revisi kecil diperlukan
- Cukup Layak, perlu revisi moderat
- Kurang Layak, memerlukan konsultasi
- Tidak layak, perlu revisi besar

Lampiran 6. Hasil Penilaian Angket Validasi Ahli 2

**LEMBAR PENILAIAN ANGKET VALIDASI E-MODUL PEMBELAJARAN
PENGEMBANGAN E-MODUL FISIKA BERBASIS TPACK MENGGUNAKAN APLIKASI HEYZINE
PADA MATERI GELOMBANG BUNYI UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI
ILMIAH SISWA KELAS XI SMA**

Nama Penilai : Dr. Soko Budi Pernomo, M.Pd.
Jabatan : Dosen P. Fisika UIN Walisongo FMG.
Tanggal :

Petunjuk Penilaian:

1. Mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan penilaian terhadap e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA yang telah dikembangkan.
2. Penilaian validasi terdiri dari 4 aspek :
 - a. Keterampilan komunikasi ilmiah
 - b. Materi
 - c. Desain
 - d. Bahasa
3. Dimohon Bapak/Ibu memberi penilaian skor 4,3,2, atau 1 pada butir – butir bahan ajar e-modul gelombang bunyi untuk meningkatkan kemampuan keterampilan komunikasi ilmiah siswa SMA dengan memberi tanda centang (✓) pada kolom penilaian yang tersedia.

Skor	kategori	Kriteria penilaian
4	Sangat Setuju (SS)	Pernyataan dinilai sangat baik, seluruh indikator tercapai dengan kualitas sangat tinggi, konsisten, dan tanpa kekurangan.
3	Setuju (S)	Pernyataan dinilai baik, sebagian besar indikator tercapai dengan kualitas baik, ada sedikit kekurangan tetapi tidak mengganggu keseluruhan mutu.
2	Tidak Setuju (TS)	Pernyataan dinilai kurang baik, banyak indikator yang belum tercapai, kualitas perlu diperbaiki secara signifikan.
1	Sangat Tidak Setuju (STS)	Pernyataan dinilai tidak baik, indikator tidak tercapai, kualitas sangat rendah, dan memerlukan perbaikan menyeluruh.

4. Saran – saran yang Bapak/Ibu berikan, mohon dituliskan pada naskah yang perlu direvisi atau dituliskan pada lembar saran yang telah disediakan.

Petunjuk Pengisian :

Bapak/Ibu Dosen dimohon untuk memberikan penilaian terhadap kualitas bahan ajar e-modul berbasis TPACK menggunakan aplikasi *Heyzine* dengan cara memberi tanda *ceklist* (✓) pada kolom yang sesuai berdasarkan pernyataan kisi-kisi di atas.

Gunakan pedoman skala berikut:

SS (4) = Sangat Setuju

S (3) = Setuju

TS (2) = Tidak Setuju

STS (1)= Sangat Tidak Setuju

A. Lembar Validasi Aspek Keterampilan Komunikasi Ilmiah

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
1	Pencarian informasi	E-modul memfasilitasi siswa untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan melalui teks, ilustrasi, atau fitur interaktif yang tersedia.	✓			
2	Membaca ilmiah	E-modul menyediakan bacaan atau aktivitas yang mendorong siswa melakukan teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan ilmiah.	✓			
3	Mendengar dan mengamati	E-modul menyajikan aktivitas yang memungkinkan siswa melakukan observasi sistematis dan mencatat data hasil pengamatan atau diskusi secara akurat.		✓		
4	Menulis ilmiah	E-modul memberikan panduan atau latihan untuk membantu siswa menyusun laporan atau artikel ilmiah dengan struktur yang sesuai dan jelas.	✓			
5	Representasi informasi	E-modul menyediakan aktivitas yang memungkinkan siswa mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti tabel atau grafik.	✓			
6	Presentasi pengetahuan	E-modul memberikan tugas atau aktivitas yang mendukung siswa menyampaikan pengetahuan secara lisan maupun tulisan dengan bahasa yang runtuh dan sistematis	✓			

B. Lembar Validasi Aspek Materi

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
Kelayakan isi						
7	Kesesuaian tujuan pembelajaran	Materi dalam e-modul disusun mengacu pada tujuan pembelajaran yang berlaku di tingkat SMA.		✓		

8	Kelengkapan materi	Materi dalam e-modul mencakup berbagai elemen yang relevan dengan capaian pembelajaran	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	Keakuratan konsep	Materi dalam e-modul disajikan berdasarkan prinsip dan konsep fisika yang sesuai dengan sumber yang dapat dipercaya.	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kedalaman materi					
10	Kelengkapan konsep (definisi, teori, contoh, soal)	Materi menyajikan konsep seperti definisi, teori, dan contoh soal sesuai kebutuhan pembelajaran.	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	Penyajian runtut	Materi disusun secara bertahap dari konsep dasar menuju konsep yang lebih kompleks	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	Analisis materi	Materi memberikan ruang bagi eksplorasi konsep lebih lanjut dan penerapan dalam konteks tertentu.	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	Kesesuaian tingkat siswa	Materi disesuaikan dengan karakteristik dan kemampuan belajar siswa SMA.	<input checked="" type="checkbox"/>		
Penyajian					
14	Penyajian sistematis	Penyajian materi mengikuti alur yang sistematis dan logis sehingga mudah diikuti.	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	Media pendukung (gambar, animasi, video)	E-modul dilengkapi dengan media pendukung yang sesuai dan berfungsi memperjelas materi.	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	Latihan soal dan kunci jawaban	E-modul menyajikan latihan soal beserta kunci jawaban yang selaras dengan isi materi.		<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Rangkuman materi	e-modul menyediakan rangkuman yang merangkum poin-poin penting dari materi yang telah disampaikan.	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	Interaktivitas e-modul	E-modul memuat aktivitas atau fitur yang memungkinkan keterlibatan aktif siswa dalam proses belajar.	<input checked="" type="checkbox"/>		
Kelayakan kontekstual					
19	Relevansi dengan kehidupan sehari-hari	Materi disajikan dengan mengaitkan beberapa contoh atau fenomena kehidupan sehari-hari.	<input checked="" type="checkbox"/>		
20	Penerapan konsep dalam kehidupan nyata	E-modul memberikan contoh penerapan konsep dalam situasi yang relevan dengan kehidupan nyata.	<input checked="" type="checkbox"/>		

C. Lembar Validasi Aspek Desain

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian
----	-----------	------------	-----------------

			SS	S	TS	STS
Efek Bahan Ajar terhadap Strategi Pembelajaran						
21	Keterlibatan siswa dalam pembelajaran	Penyajian dalam e-modul dirancang untuk mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran.	✓			
22	Struktur bahan ajar	Struktur e-modul disusun secara logis dan sistematis sehingga mudah untuk diikuti oleh siswa		✓		
23	Kemampuan meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah	E-modul memfasilitasi siswa untuk mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah melalui berbagai aktivitas	✓			
24	Kemampuan meningkatkan motivasi belajar	E-modul dirancang untuk memotivasi siswa dalam mengikuti proses pembelajaran secara aktif dan mandiri.	✓			
Tampilan visual						
25	Warna dalam bahan ajar	Pemilihan warna dalam e-modul disesuaikan untuk menunjang keterbacaan dan kenyamanan visual.	✓			
26	Jenis dan ukuran huruf	Jenis dan ukuran huruf dalam e-modul dirancang agar konsisten dan mudah dibaca oleh siswa.	✓			
27	Gambar/animasi dalam bahan ajar	Gambar dan/atau animasi dalam e-modul disertakan untuk memperjelas materi dan mendukung pemahaman konsep.		✓		
28	Kemudahan penggunaan modul	E-modul dapat digunakan dengan mudah tanpa memerlukan keterampilan teknis khusus dari pengguna.	✓			

D. Lembar Validasi Aspek Bahasa

No	Indikator	Pernyataan	Skor Penelitian			
			SS	S	TS	STS
Kesesuaian bahasa						
29	Kesesuaian dengan tingkat perkembangan siswa	Bahasa dalam e-modul disesuaikan dengan tingkat perkembangan intelektual dan kemampuan membaca siswa.	✓			
30	Ketepatan kaidah bahasa indonesia	Tata bahasa dan struktur kalimat dalam e-modul mengikuti kaidah Bahasa Indonesia yang baku dan runut.	✓			

31	Konsistensi penggunaan istilah	Istilah yang digunakan dalam e-modul konsisten dan tidak menimbulkan kebingungan makna bagi siswa.	<input checked="" type="checkbox"/>			
32	Keterbacaan pesan	Kalimat dalam e-modul disusun secara komunikatif dan dapat mewakili isi materi yang disampaikan.	<input checked="" type="checkbox"/>			

Komentar saran :

Secara umum E-Modul layak digunakan sebagai salah satu alat untuk memperoleh Informasi & Lapangan.
Catatan perbaikan juga diperlukan untuk kelengkapan proses pembelajaran dan penelitian

Kesimpulan Penilaian

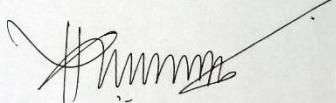
Setelah mengisi tabel penilaian, dimohon Bapak/Ibu melingkari angka dibawah ini sesuai dengan penilaian Bapak/Ibu

E-Modul Fisika Berbasis TPACK:

1. Kurang baik, sehingga belum dapat digunakan dan masih memerlukan konsultasi
2. Cukup baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan banyak revisi
- ③ Baik, sehingga dapat digunakan tetapi dengan sedikit revisi
4. Sangat baik, sehingga dapat digunakan tanpa revisi

Semarang,2025

Validator



Dr. Joko Budi Poernomo, M.Pd

NIP. 19700214 200801 011

Rekapitulasi Hasil Penilaian Angket Validasi Bahan Ajar

No	Aspek yang Dinilai	Jumlah Butir Pernyataan	Skor Maksimal	Skor Perolehan	Persentase (%)	Kategori
1	Keterampilan komunikasi ilmiah	6	24	23	95,83	Sangat layak
2	Materi	14	56	55	98,2	Sangat layak
3	Desain	8	32	30	93,75	Sangat layak
4	Bahasa	4	16	16	100	Sangat layak
	Jumlah	32	128	124	96,87	Sangat layak

Keterangan :

- **Skor Maksimal :**
 - Skor maksimal = jumlah butir x skor tertinggi (4)
- **Skor Perolehan :**
 - Jumlah skor yang diperoleh validator untuk masing-masing aspek.
- **Persentase (%) :**
 - Persentase = $(\text{Skor Perolehan} \div \text{Skor Maksimal}) \times 100\%$
- **Kategori :**

Persentase kelayakan	Interpretasi
81% < NP ≤ 100%	Sangat Layak (SL)
61% < NP ≤ 80%	Layak (L)
41% < NP ≤ 60%	Cukup Layak (CL)
21% < NP ≤ 40%	Kurang Layak (KL)
0% NP 20%	Tidak Layak (TL)

Kesimpulan Validasi Bahan Ajar

- ✓ Sangat Layak, tidak perlu revisi
- Layak, revisi kecil diperlukan
- Cukup Layak, perlu revisi moderat
- Kurang Layak, memerlukan konsultasi
- Tidak layak, perlu revisi besar

Lampiran 7. Rekapitulasi Hasil Validasi Oleh Ahli Media

Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Hasil Validasi		rata rata
		Validator I	Validator II	
Aspek keterampilan komunikasi ilmiah	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	3	4	3,5
	4	4	4	4
	5	4	3	3,5
	6	4	4	4
Aspek Materi	7	3	4	3,5
	8	4	4	4
	9	4	4	4
	10	4	4	4
	11	4	3	3,5
	12	4	3	3,5
	13	4	4	4
	14	4	4	4
	15	4	4	4
	16	3	4	3,5
Aspek desain	17	4	4	4
	18	4	4	4
	19	4	3	3,5
	20	4	3	3,5
	21	4	4	4
	22	3	4	3,5
	23	4	4	4

	24	4	4	4
	25	4	4	4
	26	4	4	4
	27	3	4	3,5
	28	4	4	4
<hr/>				
	29	4	4	4
Aspek bahasa	30	4	4	4
	31	4	4	4
	32	4	4	4
<hr/>				
Total skor		124	123	123,5
Indeks kelayakan		96,87%		96,48438
<hr/>				
Kategori		Sangat layak		

Lampiran 8. Rubrik Penilaian Instrumen Tes

INSTRUMEN SOAL BERDASARKAN KATEGORI DAN INDIKATOR KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH

Tabel 1. Sebaran Soal Pre-test dan Post-Test Berdasarkan Kategori dan Indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah

No	Kategori Keterampilan Komunikasi Ilmiah (KKI)	Indikator	Jumlah Soal
1	Pencarian informasi	Kemampuan mencari, memilih, dan mengevaluasi sumber informasi ilmiah secara relevan dan dapat dipercaya sebagai dasar penyusunan argumen fisika.	4
2	Membaca ilmiah	Kemampuan memilah informasi penting melalui teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan	3
3	Mendengar dan mengamati	Kemampuan melakukan observasi sistematis dan mencatat data hasil pengamatan atau diskusi secara akurat	2
4	Menulis ilmiah	Kemampuan menyusun kalimat ilmiah, mengorganisasi informasi, menyajikan data, dan membuat analisis sesuai kaidah penulisan ilmiah	4
5	Representasi informasi	Kemampuan mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual seperti tabel yang mudah dipahami	4
6	Presentasi pengetahuan	Kemampuan menyampaikan informasi secara verbal menggunakan bahasa yang jelas,	3

		serta menggunakan media presentasi seperti slide, video, atau alat bantu visual lainnya	
Jumlah Soal :			20

Tabel 9. Rubrik Penskoran Keterampilan Komunikasi Ilmiah

No	Kategori Keterampilan Komunikasi Ilmiah	Indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah	Skor	Rubrik Penskoran
1	Pencarian informasi	Kemampuan mencari, memilih, dan mengevaluasi sumber informasi ilmiah secara relevan dan dapat dipercaya sebagai dasar penyusunan argumen fisika.	1-4	<p>4: Memilih lebih dari satu sumber ilmiah terpercaya, menggunakan kutipan atau referensi eksplisit, dan mengaitkannya secara logis dalam jawaban atau argumen.</p> <p>3: Menggunakan setidaknya satu sumber ilmiah terpercaya dan menghubungkannya cukup relevan dengan jawaban.</p> <p>2: Menyebutkan sumber informasi, tapi tidak ilmiah atau tidak jelas relevansinya.</p> <p>1: Hanya membuat pernyataan umum tanpa asal informasi.</p>
2	Membaca ilmiah	Memilih informasi penting melalui teknik membaca selektif dan kritis terhadap isi bacaan	1-4	<p>4: Mengidentifikasi dan menjelaskan informasi penting secara logis dan kritis.</p> <p>3: Menyebutkan informasi penting dengan penjelasan yang cukup.</p> <p>2: Menyebutkan informasi penting tanpa penjelasan</p>

				1: Menyebutkan informasi yang tidak relevan.
3	Mendengar dan mengamati	Melakukan observasi sistematis dan mencatat data pengamatan atau diskusi secara akurat	1-4	<p>4: Mencatat data hasil observasi/diskusi yang lengkap, akurat, dan disusun sistematis.</p> <p>3: Data cukup lengkap, sedikit kurang sistematis.</p> <p>2: Data seadanya, pencatatan kurang lengkap atau akurat.</p> <p>1: Data tidak relevan dengan observasi/disuski.</p>
4	Menulis ilmiah	Menyusun kalimat ilmiah, menyajikan data, dan membuat analisis sesuai kaidah penulisan ilmiah	1-4	<p>4: Tulisan ilmiah runtut, sistematis, sesuai kaidah, dan analisis mendalam.</p> <p>3: Tulisan cukup runtut, analisis tepat tetapi kurang lengkap.</p> <p>2: Tulisan ada kesalahan struktur atau analisis kurang mendalam.</p> <p>1: Tulisan tidak terstruktur, sulit dipahami, banyak bagian hilang</p>
5	Representasi informasi	Mengubah data atau hasil observasi menjadi bentuk visual yang mudah dipahami	1-4	<p>4: Membuat visualisasi (tabel) akurat, lengkap, sesuai konteks, dan mudah dipahami.</p> <p>3: Visualisasi cukup tepat tapi kurang label atau keterangan.</p> <p>2: Visualisasi kurang tepat dan kurang membantu pemahaman.</p>

				1: Tidak ada visualisasi atau hasil visual tidak relevan.
6	Presentasi pengetahuan	Menyampaikan informasi secara verbal dan visual dengan jelas dan terstruktur	1-4	<p>4: Menyampaikan informasi secara verbal dengan bahasa sangat jelas, runtut, dan percaya diri.</p> <p>3: Penyampaian cukup jelas, kadang kurang sistematis.</p> <p>2: Penyampaian kurang runtut, banyak informasi penting tidak tersampaikan.</p> <p>1: Penyampaian tidak runtut, sulit dipahami, dan tidak efektif.</p>

Lampiran 10. Soal Berdasarkan Indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah

Soal Pre-test dan Post-test diujikan memiliki enam indikator Keterampilan Komunikasi Ilmiah, diantaranya:

N o	Indikat or	Soal dan Jawaban
1	Pencari an Informa si	<p>1. Soal : Perhatikan beberapa fenomena populer berikut: <ul style="list-style-type: none"> • “Suara motor balap saat melewati kamera pada video TikTok atau YouTube Shorts.” • “Penggunaan radar kecepatan oleh polisi lalu lintas untuk mendekripsi pelanggaran kendaraan.” Tugas Anda: Carilah informasi dari internet, media sosial edukatif, atau video pendek tentang salah satu dari dua fenomena di atas yang berkaitan dengan Efek Doppler. Kemudian jelaskan bagaimana perubahan frekuensi bunyi atau gelombang terjadi dalam fenomena tersebut dan apa kaitannya dengan gerakan relatif sumber terhadap pengamat! </p> <p>Jawaban :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor Balap di Video: Ketika motor mendekat ke arah kamera (pengamat), suaranya terdengar tinggi, lalu menjadi rendah saat motor melewati kamera dan menjauh. Ini terjadi karena gelombang bunyi lebih rapat saat mendekat (frekuensi naik) dan lebih renggang saat menjauh (frekuensi turun), sesuai prinsip efek Doppler. • Radar Polisi Lalu Lintas: Radar mengirim gelombang elektromagnetik ke arah mobil. Ketika mobil bergerak, gelombang yang dipantulkan mengalami pergeseran frekuensi. Jika mobil mendekat, frekuensinya naik. Informasi ini diproses untuk menghitung kecepatan kendaraan berdasarkan efek Doppler. <p>2. Soal : Bandingkan cara kerja dua alat musik yang sering muncul di konten media sosial (misalnya gitar dan suling bambu), lalu jelaskan bagaimana konsep gelombang bunyi seperti frekuensi, resonansi, dan media rambat terlibat dalam proses terbentuknya bunyi pada masing-masing alat musik!</p> <p>Jawaban: Gitar: Gelombang bunyi pada gitar dihasilkan dari getaran dawai. Frekuensi bunyi ditentukan oleh panjang dan</p>

		<p>ketegangan dawai. Resonansi terjadi saat badan gitar memperkuat suara, dan media rambatnya adalah udara. Suling Bambu: Gelombang bunyi pada suling dihasilkan dari getaran kolom udara di dalam pipa. Frekuensi tergantung pada panjang pipa. Resonansi terjadi ketika kolom udara bergetar, dan suara merambat melalui udara.</p> <p>3. Soal: Cari dan jelaskan dua teknologi industri yang memanfaatkan gelombang bunyi (audiosonik maupun ultrasonik)! Jelaskan juga cara kerjanya secara singkat!</p> <p>Jawaban:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pembersih ultrasonik: menggunakan gelombang >20.000 Hz untuk menghasilkan getaran halus dalam cairan sehingga kotoran di permukaan benda (jam tangan, lensa) bisa lepas. 2) Sensor jarak mobil (parking sensor): mengirim gelombang ultrasonik dan menerima pantulannya untuk mengukur jarak objek di belakang mobil. <p>4. Soal: Cari informasi mengenai tiga pemanfaatan gelombang ultrasonik yang sedang berkembang dalam industri modern (seperti automotif, elektronik, atau kedokteran). Jelaskan secara singkat cara kerja setiap teknologi yang memanfaatkan gelombang ultrasonik tersebut.</p> <p>Jawaban:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengelasan Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk menyambung logam tanpa menggunakan panas. Gelombang ultrasonik menghasilkan getaran yang sangat cepat untuk menciptakan tekanan, sehingga dua logam dapat terikat tanpa merusak sifat material. • Pendeteksi Keretakan Logam (Ultrasonic Testing): Gelombang ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keretakan atau cacat pada logam. Gelombang ultrasonik dipancarkan ke dalam logam, dan pantulannya dianalisis untuk mengidentifikasi retakan yang tidak terlihat. • Pembersih Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk membersihkan benda kecil, seperti kacamata atau perhiasan, dengan cara memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menghilangkan kotoran halus dari permukaan benda tanpa merusaknya.
2	Membaca ilmiah	<p>1. Soal : Perhatikan tabel berikut yang menunjukkan tiga jenis bunyi berdasarkan rentang frekuensinya:</p>

Jenis Bunyi	Rentang frekuensi	Alat yang mendeteksi
Infrasonik	< 20 Hz	Gajah, ikan paus
Audiosonik	20-20.000 Hz	Manusia, burung
ultrasonik	>20.000 Hz	Kelelawar, alat USG

Setelah membaca tabel di atas, jelaskan perbedaan antara bunyi infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik berdasarkan rentang frekuensinya dan contoh makhluk hidup atau alat yang dapat mendeteksinya!

Jawaban :

- Infrasonik adalah bunyi dengan frekuensi kurang dari 20 Hz. Bunyi ini tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh hewan seperti gajah dan ikan paus.
- Audiosonik adalah bunyi dengan frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz, yang merupakan rentang yang dapat didengar oleh manusia dan juga oleh hewan seperti burung.
- Ultrasonik adalah bunyi dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz, tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh kelelawar dan dimanfaatkan oleh alat seperti USG medis.

2. **Soal :**

Bacalah informasi berikut:

Ketika gelombang bunyi mengenai permukaan keras seperti dinding, tebing, atau logam, bunyi tersebut akan dipantulkan kembali. Peristiwa ini disebut refleksi bunyi. Prinsip ini dimanfaatkan dalam berbagai alat yang membantu manusia dalam mendeteksi objek atau melakukan pemeriksaan medis.

Perhatikan tabel berikut ini :

Aplikasi refleksi bunyi	fungsi
Sonar kapal selam	Mendeteksi benda di bawah laut
Alat USG (Ultrasonografi)	Mengamati organ dalam tubuh secara non-invasif

Setelah membaca teks dan tabel di atas, jelaskan apa yang dimaksud dengan refleksi bunyi, dan sebutkan dua contoh penerapannya dalam kehidupan sehari-hari beserta fungsinya!

Jawaban :

Refleksi bunyi adalah peristiwa pemantulan gelombang bunyi saat mengenai permukaan keras. Dua contoh penerapannya adalah:

- Sonar kapal selam, yang digunakan untuk mendeteksi benda atau medan bawah laut.
- Alat USG, yang digunakan dalam bidang medis untuk melihat kondisi organ dalam tubuh secara aman dan non-invasif.

		<p>3. Soal: Bacalah ilustrasi dan tabel berikut: Seorang siswa berdiri di pinggir jalan saat sebuah ambulans lewat sambil membunyikan sirene. Ia memperhatikan bahwa bunyi sirene terdengar lebih tinggi saat mendekat dan lebih rendah saat menjauh. Guru fisika menyebut fenomena ini sebagai efek Doppler.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kondisi ambulans</th><th>Frekuensi yang didengar pendengar</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mendekati pendengar</td><td>Lebih tinggi dari frekuensi asli</td></tr> <tr> <td>Menjauhi pendengar</td><td>Lebih rendah dari frekuensi asli</td></tr> </tbody> </table> <p>Setelah membaca ilustrasi dan tabel di atas, jelaskan mengapa frekuensi bunyi terdengar berbeda saat ambulans mendekat dan menjauh! Gunakan prinsip efek Doppler dalam jawabanmu.</p> <p>Jawaban: Efek Doppler adalah perubahan frekuensi bunyi yang diterima oleh pendengar akibat pergerakan relatif antara sumber bunyi dan pendengar. Ketika ambulans mendekati pendengar, gelombang bunyi menjadi lebih rapat (panjang gelombang lebih pendek), sehingga frekuensi terdengar lebih tinggi. Sebaliknya, saat ambulans menjauh, gelombang bunyi memanjang (panjang gelombang lebih besar), sehingga frekuensi terdengar lebih rendah dibandingkan frekuensi sumbernya</p>	Kondisi ambulans	Frekuensi yang didengar pendengar	Mendekati pendengar	Lebih tinggi dari frekuensi asli	Menjauhi pendengar	Lebih rendah dari frekuensi asli
Kondisi ambulans	Frekuensi yang didengar pendengar							
Mendekati pendengar	Lebih tinggi dari frekuensi asli							
Menjauhi pendengar	Lebih rendah dari frekuensi asli							
3	Mendengar dan mengamati	<p>1. Soal : Amati dan catat hasil dari tiga benda berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Botol kosong ditiup 2. Gelas dipukul pensil 3. Tutup panci diketuk sendok <p>Tentukan tinggi-rendah dan kuat-lemahnya bunyi masing-masing!</p> <p>Jawaban : Botol: rendah-lemah; Gelas: tinggi-sedang; Panci: sedang-kuat. Karena ukuran, massa, dan bahan berpengaruh pada getaran.</p> <p>2. Soal: Lakukan pengamatan menggunakan aplikasi pengukur suara untuk 3 volume berbeda (30%, 60%, dan 90%). Catat nilai intensitas bunyinya dan susun dalam bentuk tabel observasi!</p> <p>Jawaban: LAPORAN PENGAMATAN Judul: Hubungan Volume dan Taraf Intensitas Bunyi Tujuan Percobaan: Untuk mengetahui pengaruh perubahan volume terhadap besar kecilnya taraf intensitas bunyi (dB). Alat dan Bahan:</p>						

Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)
30%	65 dB
60%	82 dB
90%	95 dB

Analisis Data:

- Terlihat bahwa semakin besar volume, maka intensitas bunyi yang terukur juga semakin tinggi.
- Kenaikan intensitas tidak bersifat linear, tetapi logaritmik.
- Taraf intensitas menunjukkan bagaimana kualitasnya bunyi dirasakan oleh indra pendengaran.

Kesimpulan: Volume mempengaruhi taraf intensitas bunyi. Hubungan ini penting dipahami untuk mengatur kenyaringan suara agar tidak melebihi ambang batas kenyamanan atau keamanan pendengaran.

		<ul style="list-style-type: none"> Smartphone dengan aplikasi pengukur suara (misalnya Sound Meter atau Decibel X) Speaker aktif atau HP kedua sebagai sumber bunyi Lagu atau audio pengujian (misalnya dari YouTube) Ruangan tenang <p>Langkah-Langkah Percobaan:</p> <ol style="list-style-type: none"> Tempatkan HP dengan aplikasi pengukur suara pada jarak tetap dari sumber bunyi. Putar audio dengan volume 30%, lalu catat nilai intensitas bunyi yang terbaca. Ulangi langkah yang sama untuk volume 60% dan 90%. Catat hasil pengamatan dalam tabel. <p>Tabel Hasil Pengamatan:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volume sumber bunyi</th><th>Taraf intensitas bunyi (dB)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30%</td><td>65 dB</td></tr> <tr> <td>60%</td><td>82 dB</td></tr> <tr> <td>90%</td><td>95 dB</td></tr> </tbody> </table> <p>Analisis Data:</p> <ul style="list-style-type: none"> Terlihat bahwa semakin besar volume, maka intensitas bunyi yang terukur juga semakin tinggi. Kenaikan intensitas tidak bersifat linear, tetapi logaritmik. Taraf intensitas menunjukkan bagaimana kualitasnya bunyi dirasakan oleh indra pendengaran. <p>Kesimpulan: Volume mempengaruhi taraf intensitas bunyi. Hubungan ini penting dipahami untuk mengatur kenyaringan suara agar tidak melebihi ambang batas kenyamanan atau keamanan pendengaran.</p>	Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)	30%	65 dB	60%	82 dB	90%	95 dB
Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)									
30%	65 dB									
60%	82 dB									
90%	95 dB									
4	Menulis ilmiah	<p>1. Soal : Jelaskan secara ilmiah mengapa cepat rambat bunyi di udara bertambah jika suhu udara meningkat! Gunakan rumus hanya sebagai pendukung, bukan perhitungan utama.</p> <p>Jawaban : Cepat rambat bunyi bergantung pada kecepatan partikel medium dalam menghantarkan getaran. Saat suhu meningkat, energi kinetik partikel udara bertambah sehingga getaran bunyi ditransfer lebih cepat. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu udara, maka bunyi merambat lebih cepat. Hal ini sesuai dengan rumus $v = 331 + 0,6 \times T$, yang menunjukkan bahwa kecepatan bunyi bertambah 0,6 m/s setiap kenaikan 1°C.</p> <p>2. Soal : Mengapa suara petir terdengar lebih keras di malam hari daripada di siang hari? Jelaskan dengan konsep refraksi!</p>								

		<p>Jawaban : Karena malam hari udara bawah lebih hangat daripada atas, gelombang dibiasakan ke bawah, sehingga suara lebih jelas terdengar.</p> <p>Soal: Perhatikan ilustrasi berikut: Seorang penyem piano menggunakan dua garpu tala dengan frekuensi hampir sama. Ketika keduanya dibunyikan bersamaan, terdengar suara yang mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini disebut pelayangan. Pertanyaan: Tuliskan penjelasan ilmiah mengenai apa yang dimaksud dengan pelayangan dalam gelombang bunyi! Jelaskan pula bagaimana gejala ini dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam bidang musik atau akustik!</p> <p>Jawaban: Pelayangan adalah gejala naik-turunnya intensitas bunyi yang terdengar ketika dua gelombang bunyi dengan frekuensi hampir sama bertemu dan saling berinterferensi. Bunyi tersebut terdengar mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini dimanfaatkan dalam bidang musik untuk menyetel alat musik agar menghasilkan nada yang sesuai. Misalnya, penyem piano menggunakan pelayangan untuk mencocokkan frekuensi nada dari senar piano dengan alat bantu seperti garpu tala.</p> <p>Soal: Sebuah ambulans bergerak menjauhi seorang pendengar dengan kecepatan 30 m/s. Jika frekuensi sumber 400 Hz dan cepat rambat bunyi 340 m/s, berapa frekuensi yang terdengar?</p> <p>Jawaban: rumus: $f' = f \left(\frac{v}{v+v_s} \right)$ dengan: <ul style="list-style-type: none"> - f' = frekuensi yang terdengar - f = frekuensi sumber = 400 Hz - v = cepat rambat bunyi = 340 m/s - v_s = kecepatan sumber (ambulans) = 30 m/s (karena menjauhi, ditambah di bawah) $f' = 400 \left(\frac{340}{340+30} \right) - 400 \left(\frac{340}{370} \right)$ $f' \approx 400 \times 0,9189 \approx 367,6 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi yang terdengar oleh pendengar adalah sekitar 367,6 Hz. Suara terdengar lebih rendah karena sumber bunyi (ambulans) menjauhi pendengar.</p> </p>
5.	Represe ntasi	<p>1 Perhatikan grafik berikut:</p> <p>.</p>

informasi	<p>Jelaskan hubungan antara intensitas bunyi dan jarak terhadap sumber bunyi berdasarkan grafik tersebut!</p> <p>Jawaban :</p> <p>Semakin jauh jaraknya, intensitas bunyi menurun kuadratik. Energi menyebar ke permukaan yang lebih luas.</p> <p>2 Soal :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Gambar dua sketsa berikut: <p>a) Interferensi Konstruktif b) Interferensi Destruktif</p> <p>Lalu jelaskan masing-masing secara singkat.</p> <p>Jawaban :</p> <h3 style="text-align: center;">Wave Interference</h3> <div style="text-align: center;"> </div> <p>a) Konstruktif: puncak + puncak → amplitudo bertambah b) Destruktif: puncak + lembah → amplitudo melemah atau hilang</p> <p>3 Soal :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Sebuah dawai panjangnya 0,6 m, massanya 0,02 kg, dan tegangannya 30 N. Hitung frekuensi nada atas kedua! Dan jelaskan! <p>Jawaban:</p> $f_n = n \cdot \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ <p>Dengan :</p> <ul style="list-style-type: none"> - f_n: frekuensi nada ke-n - n: urutan harmonik ($n = 2$ untuk nada atas kedua)
-----------	---

		<ul style="list-style-type: none"> - L: panjang dawai = 0,6 m - T: tegangan dawai = 30 N - μ: massa per satuan panjang = $\frac{m}{L} = \frac{0,02}{0,6} = 0,0333 \text{ kg/m}$ - hitung frekuensi nada atas kedua ($n = 2$), $f_2 = 2 \cdot \frac{1}{2,0,6} \cdot \sqrt{\frac{30}{0,0333}} = \frac{1}{0,6} \cdot \sqrt{900} = \frac{1}{0,6} \cdot 30$ $= 50 \text{ Hz}$ - Frekuensi nada atas kedua adalah 50 Hz. <p>Nada atas kedua adalah getaran dawai pada harmonik ke-2, artinya dawai membentuk dua puncak (gelombang penuh). Frekuensinya dua kali lipat dari frekuensi dasar. Jadi semakin tinggi urutan harmoniknya, semakin tinggi juga frekuensinya.</p>
4	Soal:	<p>Sebuah pipa organa terbuka panjangnya 1 m menghasilkan resonansi dengan 3 simpul. Jika cepat rambat bunyi 340 m/s, hitung frekuensinya! Dan jelaskan!</p> <p>Jawaban:</p> <p>Diketahui:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Panjang pipa (L)=1 m - Cepat rambat bunyi (v)= 340 m/s - Pipa organa terbuka di kedua ujungnya - Menghasilkan resonansi dengan 3 simpul <p>Pipa organa terbuka di kedua ujungnya memiliki simpul di tengah-tengah dan perut di ujung-ujungnya. Jumlah simpul (n) pada pipa terbuka berhubungan dengan nada atas ke-($n-1$).</p> <p>Jadi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 simpul = $1/2 \lambda \rightarrow$ nada dasar ($n=1$) - 2 simpul = $1\lambda \rightarrow$ nada ke-2 ($n=2$) - 3 simpul = $1\frac{1}{2}\lambda \rightarrow$ nada ke-3 ($n=3$) $L = \frac{3}{2}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3} \text{ m}$ <p>Rumus kecepatan gelombang:</p> $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{\frac{2}{3}} = 340 \times \frac{3}{2} = 510 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi resonansi pada pipa dengan 3 simpul adalah 510 Hz.</p> <p>Karena pipa terbuka menghasilkan 3 simpul, itu berarti gelombang membentuk 1½ panjang gelombang di dalam pipa. Dengan cepat rambat bunyi diketahui, kita bisa hitung frekuensi menggunakan rumus dasar gelombang $f = \frac{v}{\lambda}$</p>
6	Presentasi	1. Soal :

	<p>pengetahuan</p> <p>Mengapa suara teriakan manusia lebih nyaring daripada suara speaker kecil meskipun isi pesannya sama? Jelaskan dengan konsep intensitas bunyi!</p> <p>Jawaban : Karena teriakan memiliki amplitudo dan intensitas lebih besar, sehingga menghasilkan suara yang lebih nyaring dan mudah didengar.</p> <p>2. Soal : Suara latihan musik dari dalam rumah masih terdengar meski pintu tertutup, tetapi ventilasi terbuka. Fenomena fisika apa yang terjadi? Jelaskan!</p> <p>Jawaban : Difraksi gelombang: bunyi melengkung saat melewati celah sempit (ventilasi). Itulah sebabnya suara masih terdengar.</p> <p>3. Soal : Buatlah paparan ilmiah tentang penggunaan gelombang ultrasonik dalam dunia medis. Jelaskan prinsip dan manfaatnya!</p> <p>Jawaban : Ultrasonografi (USG) menggunakan gelombang >20.000 Hz untuk mencitrakan organ dalam tanpa operasi. Aman dan non-invasif, digunakan untuk memantau kehamilan dan kondisi organ tubuh.</p>
--	---

Lampiran 11. Kisi-Kisi Soal Pretest – posttest

KISI - KISI PRETEST- POSTTEST

Satuan Pendidikan	: SMA/MA	Materi	: Suhu dan Kalor
Mata Pelajaran	: Fisika	Bentuk Soal	: Essay
Kelas Semester	/ : XI/Genap	Jumlah Soal	: 20 butir soal

Capaian Pembelajaran

Pada tahap akhir F, peserta didik mampu menerapkan konsep dan prinsip vektor ke dalam kinematika dan dinamika gerak partikel, usaha dan energi, fluida dinamis, getaran harmonis, gelombang bunyi, dan gelombang cahaya dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik mampu menerapkan prinsip dan konsep energi kalor dan termodinamika dengan berbagai perubahannya dalam mesin kalor. Mereka juga mampu menerapkan konsep dan prinsip kelistrikan (baik statistik maupun dinamis) dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah serta berbagai produk teknologi, serta menerapkan konsep dan prinsip gejala gelombang elektromagnetik dalam menyelesaikan masalah.

Peserta didik mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisis pada teori relativitas khusus, gejala bujur, dan menunjukkan penerapan konsep fisika inti dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Peserta didik diharapkan dapat 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

- Mengidentifikasi Sifat Gelombang Bunyi : Peserta didik mampu mengidentifikasi sifat-sifat gelombang bunyi, seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, resonansi, dan difraksi.
- Menganalisis Cepat Rambat Bunyi : Peserta didik mampu menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi cepat rambat bunyi dalam berbagai medium (padat, cair, gas).
- Menerapkan Konsep Resonansi : Peserta didik mampu menerapkan konsep resonansi dalam tabung udara untuk menentukan frekuensi bunyi.
- Menghitung Taraf Intensitas Bunyi : Peserta didik mampu menghitung taraf intensitas bunyi dan memahami hubungan antara intensitas bunyi dengan jarak dari sumber bunyi.
- Mengeksplorasi Efek Doppler : Peserta didik mampu menjelaskan dan menganalisis fenomena Efek Doppler dalam kehidupan sehari-hari.
- Menerapkan Gelombang Bunyi dalam Teknologi : Peserta didik mampu mengeksplorasi penerapan gelombang bunyi dalam berbagai teknologi, seperti sonar, USG, dan alat musik.

No	Sub Materi	Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP)	Indikator KKI	Nomor Soal Integrasi Teslet
1	karakteristik bunyi	Peserta didik mampu menjelaskan perbedaan jenis bunyi berdasarkan	Membaca ilmiah	1

		frekuensinya serta contohnya		
2	Cepat rambat bunyi	Peserta didik mampu menganalisis pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi	menulis ilmiah	2
3	Intensitas bunyi	Peserta didik mampu membaca dan menafsirkan hubungan antara intensitas bunyi dan jarak terhadap sumber bunyi	representasi informasi	3
4	Taraf intensitas dan kenyaringan	Peserta didik mampu menjelaskan konsep intensitas bunyi dan pengaruhnya terhadap kenyaringan suara	presentasi pengetahuan	4
5	Praktikum intensitas bunyi	Peserta didik mampu melakukan pengamatan terhadap intensitas dan frekuensi bunyi dari benda sehari-hari	mendengar dan mengamati	5
6	Refleksi bunyi	Peserta didik mampu menjelaskan proses pemantulan gelombang bunyi dan aplikasinya	membaca ilmiah	6
7	Refraksi bunyi	Peserta didik mampu menjelaskan fenomena refraksi gelombang bunyi dan aplikasinya dalam kehidupan	Menulis ilmiah	7

8	Difraksi	Peserta didik mampu menjelaskan perambatan bunyi melalui celah sempit	presentasi pengetahuan	8
9	Interferensi	Peserta didik mampu menggambarkan dan menjelaskan dua jenis interferensi gelombang bunyi	Representasi informasi	9
10	Pelayangan	Peserta didik mampu menjelaskan fenomena pelayangan dalam gelombang bunyi dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari	Menulis ilmiah	10
11	Efek Doppler	Peserta didik mampu menjelaskan fenomena efek Doppler dan hubungannya dengan perubahan frekuensi bunyi yang diterima pendengar	Membaca ilmiah	11
12	Efek Doppler	Peserta didik mampu mengidentifikasi fenomena perubahan frekuensi akibat gerak relatif antara sumber dan pendengar	Pencarian Informasi	12
13	Efek Doppler	Peserta didik mampu menghitung frekuensi bunyi	Menulis ilmiah	13

		yang diterima pendengar akibat gerak relatif sumber		
14	Sumber bunyi (Dawai)	Peserta didik mampu menentukan frekuensi nada pada dawai yang bergetar	Representasi informasi	14
15	Sumber bunyi (pipa)	Peserta didik mampu menentukan frekuensi resonansi pada pipa organa terbuka	Representasi informasi	15
16	Perbandingan sumber bunyi	Peserta didik mampu membedakan sumber bunyi antara dawai dan kolom udara	Pencarian informasi	16
17	Praktikum gelombang	Peserta didik mampu mencatat hasil pengamatan dan menyusun laporan berdasarkan data praktikum.	Mendengar dan mengamati	17
18	Aplikasi industri gelombang bunyi	Peserta didik mampu menjelaskan penerapan gelombang bunyi dalam teknologi industri	Pencarian informasi	18
19	Aplikasi industri gelombang ultrasonik	Peserta didik mampu mengidentifikasi manfaat gelombang ultrasonik dalam bidang industri	Pencarian informasi	19
20	Aplikasi media gelombang bunyi	Peserta didik mampu menyampaikan informasi tentang	Presentasi pengetahuan	20

		manfaat gelombang bunyi dalam dunia medis		
--	--	---	--	--

Lampiran 12. Kunci Jawaban Soal Pretest – Posttest

KUNCI JAWABAN INSTRUMEN PRETEST-POSTTEST

N O	JAWABAN
1	<ul style="list-style-type: none"> Infrasonik adalah bunyi dengan frekuensi kurang dari 20 Hz. Bunyi ini tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh hewan seperti gajah dan ikan paus. Audiosonik adalah bunyi dengan frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz, yang merupakan rentang yang dapat didengar oleh manusia dan juga oleh hewan seperti burung. Ultrasonik adalah bunyi dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz, tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh kelelawar dan dimanfaatkan oleh alat seperti USG medis.
2	Cepat rambat bunyi bergantung pada kecepatan partikel medium dalam menghantarkan getaran. Saat suhu meningkat, energi kinetik partikel udara bertambah sehingga getaran bunyi ditransfer lebih cepat. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu udara, maka bunyi merambat lebih cepat. Hal ini sesuai dengan rumus $v = 331 + 0,6 \times T$, yang menunjukkan bahwa kecepatan bunyi bertambah 0,6 m/s setiap kenaikan 1°C.
3	Semakin jauh jaraknya, intensitas bunyi menurun kuadratik. Energi menyebar ke permukaan yang lebih luas.
4	Karena teriakan memiliki amplitudo dan intensitas lebih besar, sehingga menghasilkan suara yang lebih nyaring dan mudah didengar.
5	Botol: rendah-lemah; Gelas: tinggi-sedang; Panci: sedang-kuat. Karena ukuran, massa, dan bahan berpengaruh pada getaran.
6	Refleksi bunyi adalah peristiwa pemantulan gelombang bunyi saat mengenai permukaan keras. Dua contoh penerapannya adalah: <ul style="list-style-type: none"> Sonar kapal selam, yang digunakan untuk mendeteksi benda atau medan bawah laut. Alat USG, yang digunakan dalam bidang medis untuk melihat kondisi organ dalam tubuh secara aman dan non-invasif.
7	Karena malam hari udara bawah lebih hangat daripada atas, gelombang dibiasakan ke bawah, sehingga suara lebih jelas terdengar.
8	Difraksi gelombang: bunyi melengkung saat melewati celah sempit (ventilasi). Itulah sebabnya suara masih terdengar.

9	<h2 style="margin: 0;">Wave Interference</h2>
	<p>c) Konstruktif: puncak + puncak \rightarrow amplitudo bertambah d) Destruktif: puncak + lembah \rightarrow amplitudo melemah atau hilang</p>
10	Pelayangan adalah gejala naik-turunnya intensitas bunyi yang terdengar ketika dua gelombang bunyi dengan frekuensi hampir sama bertemu dan saling berinterferensi. Bunyi tersebut terdengar mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini dimanfaatkan dalam bidang musik untuk menyelar alat musik agar menghasilkan nada yang sesuai. Misalnya, penyetem piano menggunakan pelayangan untuk mencocokkan frekuensi nada dari senar piano dengan alat bantu seperti garpu tala.
11	Efek Doppler adalah perubahan frekuensi bunyi yang diterima oleh pendengar akibat pergerakan relatif antara sumber bunyi dan pendengar. Ketika ambulans mendekati pendengar, gelombang bunyi menjadi lebih rapat (panjang gelombang lebih pendek), sehingga frekuensi terdengar lebih tinggi. Sebaliknya, saat ambulans menjauh, gelombang bunyi memanjang (panjang gelombang lebih besar), sehingga frekuensi terdengar lebih rendah dibandingkan frekuensi sumbernya
12	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Balap di Video: Ketika motor mendekat ke arah kamera (pengamat), suaranya terdengar tinggi, lalu menjadi rendah saat motor melewati kamera dan menjauh. Ini terjadi karena gelombang bunyi lebih rapat saat mendekat (frekuensi naik) dan lebih renggang saat menjauh (frekuensi turun), sesuai prinsip efek Doppler. • Radar Polisi Lalu Lintas: Radar mengirim gelombang elektromagnetik ke arah mobil. Ketika mobil bergerak, gelombang yang dipantulkan mengalami pergeseran frekuensi. Jika mobil mendekat, frekuensinya naik. Informasi ini diproses untuk menghitung kecepatan kendaraan berdasarkan efek Doppler.
13	<p>rumus: $f' = f \left(\frac{v}{v+v_s} \right)$</p> <p>dengan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - f' = frekuensi yang terdengar - f = frekuensi sumber = 400 Hz - v = cepat rambat bunyi = 340 m/s - v_s = kecepatan sumber (ambulans) = 30 m/s (karena menjauhi, ditambah di bawah) $f' = 400 \left(\frac{340}{340+30} \right) = 400 \left(\frac{340}{370} \right)$ $f' \approx 400 \times 0,9189 \approx 367,6 \text{Hz}$

	Frekuensi yang terdengar oleh pendengar adalah sekitar 367,6 Hz. Suara terdengar lebih rendah karena sumber bunyi (ambulans) menjauhi pendengar.
14	<p>Dengan :</p> <ul style="list-style-type: none"> - f_n: frekuensi nada ke-n - n: urutan harmonik ($n = 2$ untuk nada atas kedua) - L: panjang dawai = 0,6 m - T: tegangan dawai = 30 N - μ: massa per satuan panjang = $\frac{m}{L} = \frac{0,02}{0,6} = 0,0333 \text{ kg/m}$ - hitung frekuensi nada atas kedua ($n = 2$), $f_2 = 2 \cdot \frac{1}{2,0,6} \cdot \sqrt{\frac{30}{0,0333}} = \frac{1}{0,6} \cdot \sqrt{900} = \frac{1}{0,6} \cdot 30 = 50 \text{ Hz}$ <ul style="list-style-type: none"> - Frekuensi nada atas kedua adalah 50 Hz. <p>Nada atas kedua adalah getaran dawai pada harmonik ke-2, artinya dawai membentuk dua puncak (gelombang penuh). Frekuensinya dua kali lipat dari frekuensi dasar. Jadi semakin tinggi urutan harmoniknya, semakin tinggi juga frekuensinya.</p>
15	<p>Diketahui:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Panjang pipa (L)=1 m - Cepat rambang bunyi (v)= 340 m/s - Pipa organa terbuka di kedua ujungnya - Menghasilkan resonansi dengan 3 simpul <p>Pipa organa terbuka di kedua ujungnya memiliki simpul di tengah-tengah dan perut di ujung-ujungnya,jumlah simpul (n) pada pipa terbuka berhubungan dengan nada atas ke-($n-1$).</p> <p>Jadi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 simpul = $\frac{1}{2} \lambda \rightarrow$ nada dasar ($n=1$) - 2 simpul = $1\lambda \rightarrow$ nada ke-2 ($n=2$) - 3 simpul = $1\frac{1}{2} \lambda \rightarrow$ nada ke-3 ($n=3$) $L = \frac{3}{2} \lambda \rightarrow \lambda = \frac{2}{3} L = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3} \text{ m}$ <p>Rumus kecepatan gelombang:</p> $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{\frac{2}{3}} = 340 \times \frac{3}{2} = 510 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi resonansi pada pipa dengan 3 simpul adalah 510 Hz.</p> <p>Karena pipa terbuka menghasilkan 3 simpul, itu berarti gelombang membentuk 1½ panjang gelombang di dalam pipa. Dengan cepat rambat bunyi diketahui, kita bisa hitung frekuensi menggunakan rumus dasar gelombang $f = \frac{v}{\lambda}$</p>
16	Gitar: Gelombang bunyi pada gitar dihasilkan dari getaran dawai. Frekuensi bunyi ditentukan oleh panjang dan ketegangan dawai. Resonansi terjadi saat badan gitar memperkuat suara, dan media rambatnya adalah udara.

	Suling Bambu: Gelombang bunyi pada suling dihasilkan dari getaran kolom udara di dalam pipa. Frekuensi tergantung pada panjang pipa. Resonansi terjadi ketika kolom udara bergetar, dan suara merambat melalui udara.								
17	<p>LAPORAN PENGAMATAN</p> <p>Judul: Hubungan Volume dan Taraf Intensitas Bunyi</p> <p>Tujuan Percobaan: Untuk mengetahui pengaruh perubahan volume terhadap besar kecilnya taraf intensitas bunyi (dB).</p> <p>Alat dan Bahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Smartphone dengan aplikasi pengukur suara (misalnya Sound Meter atau Decibel X) • Speaker aktif atau HP kedua sebagai sumber bunyi • Lagu atau audio pengujian (misalnya dari YouTube) • Ruangan tenang <p>Langkah-Langkah Percobaan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Tempatkan HP dengan aplikasi pengukur suara pada jarak tetap dari sumber bunyi. 6. Putar audio dengan volume 30%, lalu catat nilai intensitas bunyi yang terbaca. 7. Ulangi langkah yang sama untuk volume 60% dan 90%. 8. Catat hasil pengamatan dalam tabel. <p>Tabel Hasil Pengamatan:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volume sumber bunyi</th><th>Taraf intensitas bunyi (dB)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30%</td><td>65 dB</td></tr> <tr> <td>60%</td><td>82 dB</td></tr> <tr> <td>90%</td><td>95 dB</td></tr> </tbody> </table> <p>Analisis Data:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terlihat bahwa semakin besar volume, maka intensitas bunyi yang terukur juga semakin tinggi. • Kenaikan intensitas tidak bersifat linear, tetapi logaritmik. • Taraf intensitas menunjukkan bagaimana kuat-lemahnya bunyi dirasakan oleh indra pendengaran. <p>Kesimpulan: Volume mempengaruhi taraf intensitas bunyi. Hubungan ini penting dipahami untuk mengatur kenyaringan suara agar tidak melebihi ambang batas kenyamanan atau keamanan pendengaran.</p>	Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)	30%	65 dB	60%	82 dB	90%	95 dB
Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)								
30%	65 dB								
60%	82 dB								
90%	95 dB								
18	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersih Ultrasonik: Teknologi ini menggunakan gelombang ultrasonik (lebih dari 20.000 Hz) untuk menghasilkan getaran halus dalam cairan. Getaran ini membantu menghilangkan kotoran dari permukaan benda seperti jam tangan dan lensa kamera, tanpa merusak benda tersebut. • Sensor Jarak Mobil (Parking Sensor): Teknologi ini menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak antara mobil dan objek di sekitarnya. Sensor mengirimkan gelombang dan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk pantulannya kembali, membantu pengemudi parkir dengan aman.. 								
19	<ul style="list-style-type: none"> • Pengelasan Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk menyambung logam tanpa menggunakan panas. Gelombang ultrasonik menghasilkan getaran yang sangat cepat untuk menciptakan tekanan, sehingga dua logam dapat terikat tanpa merusak sifat material. 								

	<ul style="list-style-type: none"> • Pendeteksi Keretakan Logam (Ultrasonic Testing): Gelombang ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keretakan atau cacat pada logam. Gelombang ultrasonik dipancarkan ke dalam logam, dan pantulannya dianalisis untuk mengidentifikasi retakan yang tidak terlihat. • Pembersih Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk membersihkan benda kecil, seperti kacamata atau perhiasan, dengan cara memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menghilangkan kotoran halus dari permukaan benda tanpa merusaknya.
20	Ultrasonografi (USG) menggunakan gelombang >20.000 Hz untuk mencitrakan organ dalam tanpa operasi. Aman dan non-invasif, digunakan untuk memantau kehamilan dan kondisi organ tubuh.

Lampiran 13. Kartu Soal Instrumen

KARTU SOAL INSTRUMEN PRETEST-POSTTEST UNTUK MENGUKUR KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH MATERI GELOMBANG BUNYI

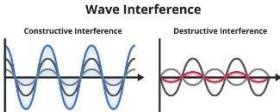
Jenjang Pendidikan : SMA / MA
Mata Pelajaran : Fisika
Materi Pokok : Gelombang Bunyi
Instrumen : Soal *Teslet Essay*
Penelitian

KARTU SOAL TESLET ESSAY														
Jenjang Pendidikan	: SMA/MA													
Mata Pelajaran	: Fisika													
Materi Pokok	: Gelombang Bunyi													
Instrumen	: Soal <i>Teslet Essay</i>													
Penelitian														
Sub Materi: karakteristik bunyi	<p>Nomor soal : 1</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan</p> <p>Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menjelaskan perbedaan jenis bunyi berdasarkan frekuensinya serta contohnya</p> <p>Soal : Perhatikan tabel berikut yang menunjukkan tiga jenis bunyi berdasarkan rentang frekuensinya:</p> <table border="1"><thead><tr><th>Jenis Bunyi</th><th>Rentang frekuensi</th><th>Alat yang mendeteksi</th></tr></thead><tbody><tr><td>Infrasonik</td><td>< 20 Hz</td><td>Gajah, ikan paus</td></tr><tr><td>Audiosonik</td><td>20-20.000 Hz</td><td>Manusia, burung</td></tr><tr><td>ultrasonik</td><td>>20.000 Hz</td><td>Kelelawar, alat USG</td></tr></tbody></table> <p>Setelah membaca tabel di atas, jelaskan perbedaan antara bunyi infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik berdasarkan rentang frekuensinya dan contoh makhluk hidup atau alat yang dapat mendeteksinya!</p> <p>Jawaban :</p> <ul style="list-style-type: none">• Infrasonik adalah bunyi dengan frekuensi kurang dari 20 Hz. Bunyi ini tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh hewan seperti gajah dan ikan paus.	Jenis Bunyi	Rentang frekuensi	Alat yang mendeteksi	Infrasonik	< 20 Hz	Gajah, ikan paus	Audiosonik	20-20.000 Hz	Manusia, burung	ultrasonik	>20.000 Hz	Kelelawar, alat USG	<p>Indikator KKI: Membaca ilmiah</p>
Jenis Bunyi	Rentang frekuensi	Alat yang mendeteksi												
Infrasonik	< 20 Hz	Gajah, ikan paus												
Audiosonik	20-20.000 Hz	Manusia, burung												
ultrasonik	>20.000 Hz	Kelelawar, alat USG												

	<ul style="list-style-type: none"> • Audiosonik adalah bunyi dengan frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz, yang merupakan rentang yang dapat didengar oleh manusia dan juga oleh hewan seperti burung. • Ultrasonik adalah bunyi dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz, tidak terdengar oleh manusia, tetapi dapat dideteksi oleh kelelawar dan dimanfaatkan oleh alat seperti USG medis. 																	
Sub Materi: Cepat rambat bunyi	<p>Nomor soal : 2</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menganalisis pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi</p> <p>Soal : Jelaskan secara ilmiah mengapa cepat rambat bunyi di udara bertambah jika suhu udara meningkat! Gunakan rumus hanya sebagai pendukung, bukan perhitungan utama.</p> <p>Jawaban : Cepat rambat bunyi bergantung pada kecepatan partikel medium dalam mengantarkan getaran. Saat suhu meningkat, energi kinetik partikel udara bertambah sehingga getaran bunyi ditransfer lebih cepat. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu udara, maka bunyi merambat lebih cepat. Hal ini sesuai dengan rumus $v = 331 + 0,6 \times T$, yang menunjukkan bahwa kecepatan bunyi bertambah 0,6 m/s setiap kenaikan 1°C.</p>	Indikator KKI: menulis ilmiah																
Sub Materi: Intensitas bunyi	<p>Nomor soal : 3</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu membaca dan menafsirkan hubungan antara intensitas bunyi dan jarak terhadap sumber bunyi</p> <p>Soal : Perhatikan grafik berikut:</p> <p style="text-align: center;">Hubungan Intensitas Bunyi terhadap Jarak</p> <table border="1"> <caption>Data points estimated from the graph</caption> <thead> <tr> <th>Jarak (m)</th> <th>Intensitas (reatif)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>0.125</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>0.083</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>0.033</td></tr> </tbody> </table>	Jarak (m)	Intensitas (reatif)	0.5	1.0	1.0	0.5	2.0	0.25	4.0	0.125	6.0	0.083	8.0	0.05	10.0	0.033	Indikator KKI: representasi informasi
Jarak (m)	Intensitas (reatif)																	
0.5	1.0																	
1.0	0.5																	
2.0	0.25																	
4.0	0.125																	
6.0	0.083																	
8.0	0.05																	
10.0	0.033																	

	<p>Jelaskan hubungan antara intensitas bunyi dan jarak terhadap sumber bunyi berdasarkan grafik tersebut!</p> <p>Jawaban : Semakin jauh jaraknya, intensitas bunyi menurun kuadratik. Energi menyebar ke permukaan yang lebih luas.</p>	
Sub Materi : Taraf intensitas dan kenyaringan	<p>Nomor Soal : 4</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menjelaskan konsep intensitas bunyi dan pengaruhnya terhadap kenyaringan suara</p> <p>Soal : Mengapa suara teriakan manusia lebih nyaring daripada suara speaker kecil meskipun isi pesannya sama? Jelaskan dengan konsep intensitas bunyi!</p> <p>Jawaban : Karena teriakan memiliki amplitudo dan intensitas lebih besar, sehingga menghasilkan suara yang lebih nyaring dan mudah didengar.</p>	Indikator KKI: presentasi pengetahuan
Sub Materi : Praktikum intensitas bunyi	<p>Nomor soal : 5</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu melakukan pengamatan terhadap intensitas dan frekuensi bunyi dari benda sehari-hari</p> <p>Soal : Amati dan catat hasil dari tiga benda berikut: 4. Botol kosong ditutup 5. Gelas dipukul pensil 6. Tutup panci diketuk sendok Tentukan tinggi-rendah dan kuat-lemahnya bunyi masing-masing!</p> <p>Jawaban : Botol: rendah-lemah; Gelas: tinggi-sedang; Panci: sedang-kuat. Karena ukuran, massa, dan bahan berpengaruh pada getaran.</p>	Indikator KKI: mendengar dan mengamati
Sub Materi : Refleksi bunyi	<p>Nomor Soal : 6</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menjelaskan proses pemantulan gelombang bunyi dan aplikasinya</p> <p>Soal : Bacalah informasi berikut: Ketika gelombang bunyi mengenai permukaan keras seperti dinding, tebing, atau logam, bunyi tersebut akan dipantulkan kembali. Peristiwa ini disebut refleksi bunyi. Prinsip ini dimanfaatkan dalam berbagai alat yang membantu manusia dalam mendekripsi objek atau melakukan pemeriksaan medis.</p>	Indikator KKI: membaca ilmiah

	<p>Perhatikan tabel berikut ini :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Aplikasi refleksi bunyi</th><th>Fungsi</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sonar kapal selam</td><td>Mendeteksi benda di bawah laut</td></tr> <tr> <td>Alat USG (Ultrasonografi)</td><td>Mengamati organ dalam tubuh secara non-invasif</td></tr> </tbody> </table> <p>Setelah membaca teks dan tabel di atas, jelaskan apa yang dimaksud dengan refleksi bunyi, dan sebutkan dua contoh penerapannya dalam kehidupan sehari-hari beserta fungsinya!</p> <p>Jawaban :</p> <p>Refleksi bunyi adalah peristiwa pemantulan gelombang bunyi saat mengenai permukaan keras. Dua contoh penerapannya adalah:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sonar kapal selam, yang digunakan untuk mendeteksi benda atau medan bawah laut. • Alat USG, yang digunakan dalam bidang medis untuk melihat kondisi organ dalam tubuh secara aman dan non-invasif. 	Aplikasi refleksi bunyi	Fungsi	Sonar kapal selam	Mendeteksi benda di bawah laut	Alat USG (Ultrasonografi)	Mengamati organ dalam tubuh secara non-invasif	
Aplikasi refleksi bunyi	Fungsi							
Sonar kapal selam	Mendeteksi benda di bawah laut							
Alat USG (Ultrasonografi)	Mengamati organ dalam tubuh secara non-invasif							
Sub Materi : Refraksi bunyi	<p>Nomor Soal : 7</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menjelaskan fenomena refraksi gelombang bunyi dan aplikasinya dalam kehidupan</p> <p>Soal : Mengapa suara petir terdengar lebih keras di malam hari daripada di siang hari? Jelaskan dengan konsep refraksi!</p> <p>Jawaban : Karena malam hari udara bawah lebih hangat daripada atas, gelombang dibiasakan ke bawah, sehingga suara lebih jelas terdengar.</p>	Indikator KKI: menulis ilmiah						
Sub Materi : Difraksi	<p>Nomor Soal : 8</p> <p>Indikator Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menjelaskan perambatan bunyi melalui celah sempit</p> <p>Soal : Suara latihan musik dari dalam rumah masih terdengar meski pintu tertutup, tetapi ventilasi terbuka. Fenomena fisika apa yang terjadi? Jelaskan!</p> <p>Jawaban : Difraksi gelombang: bunyi melengkung saat melewati celah sempit (ventilasi). Itulah sebabnya suara masih terdengar.</p>	Indikator KKI: presentasi pengetahuan						
Sub Materi : Interferensi	Nomor Soal : 9	Indikator KKI:						

	<p>Indikator Pembelajaran (IKTP): Peserta didik mampu menggambarkan dan menjelaskan dua jenis interferensi gelombang bunyi</p> <p>Soal : Gambar dua sketsa berikut: c) Interferensi Konstruktif d) Interferensi Destruktif Lalu jelaskan masing-masing secara singkat.</p> <p>Jawaban :</p>  <p>e) Konstruktif: puncak + puncak → amplitudo bertambah f) Destruktif: puncak + lembah → amplitudo melemah atau hilang</p>	representasi informasi
Sub Materi: Pelayangan	<p>Nomor Soal: 10</p> <p>Indikator Pembelajaran (IKTP) : Peserta didik mampu menjelaskan fenomena pelayangan dalam gelombang bunyi dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari</p> <p>Soal: Perhatikan ilustrasi berikut: Seorang penyetem piano menggunakan dua garpu tala dengan frekuensi hampir sama. Ketika keduanya dibunyikan bersamaan, terdengar suara yang mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini disebut pelayangan. Pertanyaan: Tuliskan penjelasan ilmiah mengenai apa yang dimaksud dengan pelayangan dalam gelombang bunyi! Jelaskan pula bagaimana gejala ini dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam bidang musik atau akustik!</p> <p>Jawaban: Pelayangan adalah gejala naik-turunnya intensitas bunyi yang terdengar ketika dua gelombang bunyi dengan frekuensi hampir sama bertemu dan saling berinterferensi. Bunyi tersebut terdengar mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini dimanfaatkan dalam bidang musik untuk menyetel alat musik agar menghasilkan nada yang sesuai. Misalnya, penyetem piano menggunakan pelayangan</p>	<p>Indikator KKI: Menulis ilmiah</p>

	untuk mencocokkan frekuensi nada dari senar piano dengan alat bantu seperti garpu tala.							
Sub Materi: Efek Doppler	<p>Nomor Soal: 11</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menjelaskan fenomena efek Doppler dan hubungannya dengan perubahan frekuensi bunyi yang diterima pendengar</p> <p>Soal: Bacalah ilustrasi dan tabel berikut: Seorang siswa berdiri di pinggir jalan saat sebuah ambulans lewat sambil membunyikan sirene. Ia memperhatikan bahwa bunyi sirene terdengar lebih tinggi saat mendekat dan lebih rendah saat menjauh. Guru fisika menyebut fenomena ini sebagai efek Doppler.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kondisi ambulans</th> <th>Frekuensi yang di dengar pendengar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mendekati pendengar</td> <td>Lebih tinggi dari frekuensi asli</td> </tr> <tr> <td>Menjauhi pendengar</td> <td>Lebih rendah dari frekuensi asli</td> </tr> </tbody> </table> <p>Setelah membaca ilustrasi dan tabel di atas, jelaskan mengapa frekuensi bunyi terdengar berbeda saat ambulans mendekat dan menjauh! Gunakan prinsip efek Doppler dalam jawabanmu.</p> <p>Jawaban: Efek Doppler adalah perubahan frekuensi bunyi yang diterima oleh pendengar akibat pergerakan relatif antara sumber bunyi dan pendengar. Ketika ambulans mendekati pendengar, gelombang bunyi menjadi lebih rapat (panjang gelombang lebih pendek), sehingga frekuensi terdengar lebih tinggi. Sebaliknya, saat ambulans menjauh, gelombang bunyi memanjang (panjang gelombang lebih besar), sehingga frekuensi terdengar lebih rendah dibandingkan frekuensi sumbernya.</p>	Kondisi ambulans	Frekuensi yang di dengar pendengar	Mendekati pendengar	Lebih tinggi dari frekuensi asli	Menjauhi pendengar	Lebih rendah dari frekuensi asli	<p>Indikator KKI: Membaca ilmiah</p>
Kondisi ambulans	Frekuensi yang di dengar pendengar							
Mendekati pendengar	Lebih tinggi dari frekuensi asli							
Menjauhi pendengar	Lebih rendah dari frekuensi asli							
Sub Materi : Efek Doppler	<p>Nomor Soal : 12</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK): Peserta didik mampu mengidentifikasi fenomena perubahan frekuensi akibat gerak relatif antara sumber dan pendengar</p> <p>Soal : Perhatikan beberapa fenomena populer berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> “Suara motor balap saat melewati kamera pada video TikTok atau YouTube Shorts.” 	<p>Indikator KKI: pencarian informasi</p>						

	<ul style="list-style-type: none"> “Penggunaan radar kecepatan oleh polisi lalu lintas untuk mendeteksi pelanggaran kendaraan.” <p>Tugas Anda: Carilah informasi dari internet, media sosial edukatif, atau video pendek tentang salah satu dari dua fenomena di atas yang berkaitan dengan Efek Doppler. Kemudian jelaskan bagaimana perubahan frekuensi bunyi atau gelombang terjadi dalam fenomena tersebut dan apa kaitannya dengan gerakan relatif sumber terhadap pengamat!</p> <p>Jawaban:</p> <ul style="list-style-type: none"> Motor Balap di Video: Ketika motor mendekat ke arah kamera (pengamat), suaranya terdengar tinggi, lalu menjadi rendah saat motor melewati kamera dan menjauh. Ini terjadi karena gelombang bunyi lebih rapat saat mendekat (frekuensi naik) dan lebih renggang saat menjauh (frekuensi turun), sesuai prinsip efek Doppler. Radar Polisi Lalu Lintas: Radar mengirim gelombang elektromagnetik ke arah mobil. Ketika mobil bergerak, gelombang yang dipantulkan mengalami pergeseran frekuensi. Jika mobil mendekat, frekuensinya naik. Informasi ini diproses untuk menghitung kecepatan kendaraan berdasarkan efek Doppler. 	
Sub Materi: Efek Doppler	<p>Nomor Soal: 13</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menghitung frekuensi bunyi yang diterima pendengar akibat gerak relatif sumber</p> <p>Soal: Sebuah ambulans bergerak menjauhi seorang pendengar dengan kecepatan 30 m/s. Jika frekuensi sumber 400 Hz dan cepat rambat bunyi 340 m/s, berapa frekuensi yang terdengar?</p> <p>Jawaban: rumus: $f' = f \left(\frac{v}{v + v_s} \right)$ dengan: - f' = frekuensi yang terdengar - f = frekuensi sumber = 400 Hz - v = cepat rambat bunyi = 340 m/s</p>	Indikator KKI: Menulis ilmiah

	<ul style="list-style-type: none"> $v_s = \text{kecepatan sumber (ambulans)} = 30 \text{ m/s}$ (karena menjauhi, ditambah di bawah) $f' = 400 \left(\frac{\frac{340}{340+30}}{} \right) - 400 \left(\frac{\frac{340}{370}}{} \right)$ $f' \approx 400 \times 0,9189 \approx 367,6 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi yang terdengar oleh pendengar adalah sekitar 367,6 Hz. Suara terdengar lebih rendah karena sumber bunyi (ambulans) menjauhi pendengar.</p>	
Sub Materi: Sumber bunyi (Dawai)	<p>Nomor Soal: 14</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menentukan frekuensi nada pada dawai yang bergetar</p> <p>Soal: Sebuah dawai panjangnya 0,6 m, massanya 0,02 kg, dan tegangannya 30 N. Hitung frekuensi nada atas kedua! Dan jelaskan!</p> <p>Jawaban:</p> $f_n = n \cdot \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ <p>Dengan :</p> <ul style="list-style-type: none"> f_n: frekuensi nada ke-n n: urutan harmonik ($n = 2$ untuk nada atas kedua) L: panjang dawai = 0,6 m T: tegangan dawai = 30 N μ: massa per satuan panjang = $\frac{m}{L} = \frac{0,02}{0,6} = 0,0333 \text{ kg/m}$ hitung frekuensi nada atas kedua ($n = 2$), $f_2 = 2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,6} \cdot \sqrt{\frac{30}{0,0333}} = \frac{1}{0,6} \cdot \sqrt{900}$ $= \frac{1}{0,6} \cdot 30 = 50 \text{ Hz}$ <ul style="list-style-type: none"> Frekuensi nada atas kedua adalah 50 Hz. Nada atas kedua adalah getaran dawai pada harmonik ke-2, artinya dawai membentuk dua puncak (gelombang penuh). Frekuensinya dua kali lipat dari frekuensi dasar. Jadi semakin tinggi urutan harmoniknya, semakin tinggi juga frekuensinya. 	Indikator KKI: Representasi informasi
Sub Materi: Sumber bunyi (pipa)	<p>Nomor Soal: 15</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menentukan frekuensi resonansi pada pipa organa terbuka</p> <p>Soal:</p>	Indikator KKI: Representasi informasi

	<p>Sebuah pipa organa terbuka panjangnya 1 m menghasilkan resonansi dengan 3 simpul. Jika cepat rambat bunyi 340 m/s, hitung frekuensinya! Dan jelaskan!</p> <p>Jawaban:</p> <p>Diketahui:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Panjang pipa (L)=1 m - Cepat rambat bunyi (v)= 340 m/s - Pipa organa terbuka di kedua ujungnya - Menghasilkan resonansi dengan 3 simpul <p>Pipa organa terbuka di kedua ujungnya memiliki simpul di tengah-tengah dan perut di ujung-ujungnya. Jumlah simpul (n) pada pipa terbuka berhubungan dengan nada atas ke-($n-1$).</p> <p>Jadi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 simpul = $\frac{1}{2}\lambda \rightarrow$ nada dasar ($n=1$) - 2 simpul = $1\lambda \rightarrow$ nada ke-2 ($n=2$) - 3 simpul = $\frac{3}{2}\lambda \rightarrow$ nada ke-3 ($n=3$) $L = \frac{3}{2}\lambda \rightarrow \lambda = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3}m$ <p>Rumus kecepatan gelombang:</p> $v = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{\frac{2}{3}} = 340 \times \frac{3}{2} = 510 \text{ Hz}$ <p>Frekuensi resonansi pada pipa dengan 3 simpul adalah 510 Hz.</p> <p>Karena pipa terbuka menghasilkan 3 simpul, itu berarti gelombang membentuk 1½ panjang gelombang di dalam pipa. Dengan cepat rambat bunyi diketahui, kita bisa hitung frekuensi menggunakan rumus dasar gelombang $f = \frac{v}{\lambda}$</p>	
<p>Sub Materi: Perbandingan sumber bunyi</p>	<p>Nomor Soal: 16</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu membedakan sumber bunyi antara dawai dan kolom udara</p> <p>Soal: Bandingkan cara kerja dua alat musik yang sering muncul di konten media sosial (misalnya gitar dan suling bambu), lalu jelaskan bagaimana konsep gelombang bunyi seperti frekuensi, resonansi, dan media rambat terlibat dalam proses terbentuknya bunyi pada masing-masing alat musik!</p> <p>Jawaban: Gitar: Gelombang bunyi pada gitar dihasilkan dari getaran dawai. Frekuensi bunyi ditentukan oleh panjang dan ketegangan dawai. Resonansi terjadi saat badan gitar memperkuat suara, dan media rambatnya adalah udara.</p>	<p>Indikator KKI: Pencarian informasi</p>

	<p>Suling Bambu: Gelombang bunyi pada suling dihasilkan dari getaran kolom udara di dalam pipa. Frekuensi tergantung pada panjang pipa. Resonansi terjadi ketika kolom udara bergetar, dan suara merambat melalui udara.</p>									
Sub Materi: Praktikum gelombang	<p>Nomor Soal : 17</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu mencatat hasil pengamatan dan menyusun laporan berdasarkan data praktikum.</p> <p>Soal: Lakukan pengamatan menggunakan aplikasi pengukur suara untuk 3 volume berbeda (30%, 60%, dan 90%). Catat nilai intensitas bunyinya dan susun dalam bentuk tabel observasi!</p> <p>Jawaban: LAPORAN PENGAMATAN Judul: Hubungan Volume dan Taraf Intensitas Bunyi Tujuan Percobaan: Untuk mengetahui pengaruh perubahan volume terhadap besar kecilnya taraf intensitas bunyi (dB). Alat dan Bahan: <ul style="list-style-type: none"> Smartphone dengan aplikasi pengukur suara (misalnya Sound Meter atau Decibel X) Speaker aktif atau HP kedua sebagai sumber bunyi Lagu atau audio pengujian (misalnya dari YouTube) Ruangan tenang Langkah-Langkah Percobaan: <ol style="list-style-type: none"> Tempatkan HP dengan aplikasi pengukur suara pada jarak tetap dari sumber bunyi. Putar audio dengan volume 30%, lalu catat nilai intensitas bunyi yang terbaca. Ulangi langkah yang sama untuk volume 60% dan 90%. Catat hasil pengamatan dalam tabel. <p>Tabel Hasil Pengamatan:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volume sumber bunyi</th> <th>Taraf intensitas bunyi (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30%</td> <td>65 dB</td> </tr> <tr> <td>60%</td> <td>82 dB</td> </tr> <tr> <td>90%</td> <td>95 dB</td> </tr> </tbody> </table> <p>Analisis Data:</p> <ul style="list-style-type: none"> Terlihat bahwa semakin besar volume, maka intensitas bunyi yang terukur juga semakin tinggi. </p>	Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)	30%	65 dB	60%	82 dB	90%	95 dB	Indikator KKI: Mendengar dan mengamati
Volume sumber bunyi	Taraf intensitas bunyi (dB)									
30%	65 dB									
60%	82 dB									
90%	95 dB									

	<ul style="list-style-type: none"> • Kenaikan intensitas tidak bersifat linear, tetapi logaritmik. • Taraf intensitas menunjukkan bagaimana kuat-lemahnya bunyi dirasakan oleh indera pendengaran. <p>Kesimpulan: Volume mempengaruhi taraf intensitas bunyi. Hubungan ini penting dipahami untuk mengatur kenyaringan suara agar tidak melebihi ambang batas kenyamanan atau keamanan pendengaran.</p>	
Sub Materi: Aplikasi industri gelombang bunyi	<p>Nomor Soal : 18</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menjelaskan penerapan gelombang bunyi dalam teknologi industri</p> <p>Soal: Cari informasi mengenai dua teknologi industri terbaru yang memanfaatkan gelombang bunyi, baik audiosonik maupun ultrasonik, yang saat ini sedang berkembang di pasar. Contohnya, teknologi di medis, otomotif, atau elektronik. Jelaskan secara singkat cara kerja masing-masing teknologi tersebut.</p> <p>Jawaban:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pembersih Ultrasonik: Teknologi ini menggunakan gelombang ultrasonik (lebih dari 20.000 Hz) untuk menghasilkan getaran halus dalam cairan. Getaran ini membantu menghilangkan kotoran dari permukaan benda seperti jam tangan dan lensa kamera, tanpa merusak benda tersebut. • Sensor Jarak Mobil (Parking Sensor): Teknologi ini menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak antara mobil dan objek di sekitarnya. Sensor mengirimkan gelombang dan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk pantulannya kembali, membantu pengemudi parkir dengan aman. 	Indikator KKI: Pencarian informasi
Sub Materi: Aplikasi industri gelombang ultrasonik	<p>Nomor Soal: 19</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu mengidentifikasi manfaat gelombang ultrasonik dalam bidang industri</p> <p>Soal: Cari informasi mengenai tiga pemanfaatan gelombang ultrasonik yang sedang berkembang dalam industri modern (seperti automotif, elektronik, atau kedokteran). Jelaskan secara singkat cara kerja setiap </p>	Indikator KKI: Pencarian informasi

	<p>teknologi yang memanfaatkan gelombang ultrasonik tersebut.</p> <p>Jawaban:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengelasan Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk menyambung logam tanpa menggunakan panas. Gelombang ultrasonik menghasilkan getaran yang sangat cepat untuk menciptakan tekanan, sehingga dua logam dapat terikat tanpa merusak sifat material. • Pendeteksi Keretakan Logam (Ultrasonic Testing): Gelombang ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keretakan atau cacat pada logam. Gelombang ultrasonik dipancarkan ke dalam logam, dan pantulannya dianalisis untuk mengidentifikasi retakan yang tidak terlihat. • Pembersih Ultrasonik: Teknologi ini digunakan untuk membersihkan benda kecil, seperti kacamata atau perhiasan, dengan cara memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menghilangkan kotoran halus dari permukaan benda tanpa merusaknya. 	
Sub Materi: Aplikasi media gelombang bunyi	<p>Nomor Soal: 20</p> <p>Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) : Peserta didik mampu menyampaikan informasi tentang manfaat gelombang bunyi dalam dunia medis</p> <p>Soal: Buatlah paparan ilmiah tentang penggunaan gelombang ultrasonik dalam dunia medis. Jelaskan prinsip dan manfaatnya!</p> <p>Jawaban: Ultrasonografi (USG) menggunakan gelombang >20.000 Hz untuk mencitrakan organ dalam tanpa operasi. Aman dan non-invasif, digunakan untuk memantau kehamilan dan kondisi organ tubuh.</p>	Indikator KKI: Presentasi pengetahuan

Lampiran 14. Lembar Soal Pretest – Posttest

SOAL PENELITIAN INSTRUMEN PRETEST-POSTTEST UNTUK MENGIKUR KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA PADA MATERI GELOMBANG BUNYI

Mata Pelajaran : Fisika
Materi Pokok : Gelombang Bunyi
Alokasi Waktu : 1 JP (45 menit)

Petunjuk Pengerjaan Soal Essay

1. Baca soal dengan cermat.
2. Jawablah dengan jelas, runtut dan sesuai materi.
3. Gunakan istilah ilmiah yang tepat.
4. Sertakan penjelasan, alasan, atau perhitungan jika diminta.
5. Tulis dengan rapi dan mudah dibaca.
6. Kerjakan secara mandiri dan jujur.

Soal Essay :

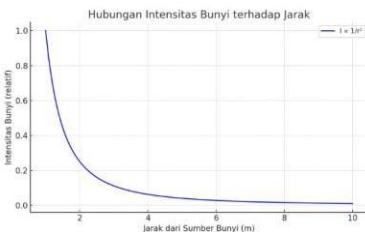
1. Perhatikan tabel berikut yang menunjukkan tiga jenis bunyi berdasarkan rentang frekuensinya:

Jenis Bunyi	Rentang frekuensi	Alat yang mendekripsi
Infrasonik	< 20 Hz	Gajah, ikan paus
Audiosonik	20-20.000 Hz	Manusia, burung
ultrasonik	>20.000 Hz	Kelelawar, alat USG

Setelah membaca tabel di atas, jelaskan perbedaan antara bunyi infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik berdasarkan rentang frekuensinya dan contoh makhluk hidup atau alat yang dapat mendekripsinya!

2. Jelaskan secara ilmiah mengapa cepat rambat bunyi di udara bertambah jika suhu udara meningkat! Gunakan rumus hanya sebagai pendukung, bukan perhitungan utama.

3. Perhatikan grafik berikut:



Jelaskan hubungan antara intensitas bunyi dan jarak terhadap sumber bunyi berdasarkan grafik tersebut!

4. Mengapa suara teriakan manusia lebih nyaring daripada suara speaker kecil meskipun isi pesannya sama? Jelaskan dengan konsep intensitas bunyi!

5. Amati dan catat hasil dari tiga benda berikut:

- a) Botol kosong ditiup
- b) Gelas dipukul pensil
- c) Tutup panci diketuk sendok

Tentukan tinggi-rendah dan kuat-lemahnya bunyi masing-masing!

6. Bacalah informasi berikut:

Ketika gelombang bunyi mengenai permukaan keras seperti dinding, tebing, atau logam, bunyi tersebut akan dipantulkan kembali. Peristiwa ini disebut refleksi bunyi.

Prinsip ini dimanfaatkan dalam berbagai alat yang membantu manusia dalam mendeteksi objek atau melakukan pemeriksaan medis.

Perhatikan tabel berikut ini :

Aplikasi refleksi bunyi	Fungsi
Sonar kapal selam	Mendeteksi benda di bawah laut
Alat USG (Ultrasonorografi)	Mengamati organ dalam tubuh secara non-invasif

Setelah membaca teks dan tabel di atas, jelaskan apa yang dimaksud dengan refleksi bunyi, dan sebutkan dua contoh

penerapannya dalam kehidupan sehari-hari beserta fungsinya!

7. Mengapa suara petir terdengar lebih keras di malam hari daripada di siang hari? Jelaskan dengan konsep refraksi!
8. Suara latihan musik dari dalam rumah masih terdengar meski pintu tertutup, tetapi ventilasi terbuka. Fenomena fisika apa yang terjadi? Jelaskan!
9. Gambar dua sketsa berikut:
 - e) Interferensi Konstruktif
 - f) Interferensi DestruktifLalu jelaskan masing-masing secara singkat.
10. Perhatikan ilustrasi berikut:

Seorang penyetem piano menggunakan dua garpu tala dengan frekuensi hampir sama. Ketika keduanya dibunyikan bersamaan, terdengar suara yang mengeras dan melemah secara berkala. Fenomena ini disebut pelayangan.

Pertanyaan:

Tuliskan penjelasan ilmiah mengenai apa yang dimaksud dengan pelayangan dalam gelombang bunyi! Jelaskan pula bagaimana gejala ini dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam bidang musik atau akustik!

11. Bacalah ilustrasi dan tabel berikut:

Seorang siswa berdiri di pinggir jalan saat sebuah ambulans lewat sambil membunyikan sirene. Ia memperhatikan bahwa bunyi sirene terdengar lebih tinggi saat mendekat dan lebih rendah saat menjauh. Guru fisika menyebut fenomena ini sebagai efek Doppler.

Kondisi ambulans	Frekuensi yang di dengar pendengar
Mendekati pendengar	Lebih tinggi dari frekuensi asli
Menjauhi pendengar	Lebih rendah dari frekuensi asli

Setelah membaca ilustrasi dan tabel di atas, jelaskan mengapa frekuensi bunyi terdengar berbeda saat ambulans mendekat dan menjauh! Gunakan prinsip efek Doppler dalam jawabanmu.

12. Perhatikan beberapa fenomena populer berikut:

- “Suara motor balap saat melewati kamera pada video TikTok atau YouTube Shorts.”
- “Penggunaan radar kecepatan oleh polisi lalu lintas untuk mendeteksi pelanggaran kendaraan.”

Tugas Anda:

Carilah informasi dari internet, media sosial edukatif, atau video pendek tentang salah satu dari dua fenomena di atas yang berkaitan dengan Efek Doppler. Kemudian jelaskan bagaimana perubahan frekuensi bunyi atau gelombang terjadi dalam fenomena tersebut dan apa kaitannya dengan gerakan relatif sumber terhadap pengamat!

13. Sebuah ambulans bergerak menjauhi seorang pendengar dengan kecepatan 30 m/s . Jika frekuensi sumber 400 Hz dan cepat rambat bunyi 340 m/s , berapa frekuensi yang terdengar?

14. Sebuah dawai panjangnya $0,6 \text{ m}$, massanya $0,02 \text{ kg}$, dan tegangannya 30 N . Hitung frekuensi nada atas kedua! Dan jelaskan!

15. Sebuah pipa organa terbuka panjangnya 1 m menghasilkan resonansi dengan 3 simpul. Jika cepat rambat bunyi 340 m/s , hitung frekuensinya! Dan jelaskan!

16. Bandingkan cara kerja dua alat musik yang sering muncul di konten media sosial (misalnya gitar dan suling bambu), lalu **jelaskan bagaimana konsep gelombang bunyi seperti frekuensi, resonansi, dan media rambat terlibat dalam proses terbentuknya bunyi pada masing-masing alat musik!**

17. Lakukan pengamatan menggunakan aplikasi pengukur suara untuk 3 volume berbeda (30%, 60%, dan 90%). Catat nilai intensitas bunyinya dan susun dalam bentuk tabel observasi!
18. Cari informasi mengenai **dua teknologi industri terbaru** yang memanfaatkan gelombang bunyi, baik **audiosonik** maupun **ultrasonik**, yang saat ini sedang berkembang di pasar. Contohnya, teknologi di **medis, otomotif, atau elektronik**. Jelaskan secara singkat cara kerja masing-masing teknologi tersebut.
19. Cari informasi mengenai **tiga pemanfaatan gelombang ultrasonik** yang sedang berkembang dalam **industri modern** (seperti **automotif, elektronik, atau kedokteran**). Jelaskan secara singkat cara kerja setiap teknologi yang memanfaatkan gelombang ultrasonik tersebut.
20. Buatlah paparan ilmiah tentang penggunaan gelombang ultrasonik dalam dunia medis. Jelaskan prinsip dan manfaatnya!

Lampiran 15. Angket Respons Siswa

ANGKET PERSEPSI SISWA TERHADAP E-MODUL FISIKA BERBASIS TPACK MENGGUNAKAN APLIKASI HEYZINE UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA

Nama Siswa :

Kelas :

Petunjuk Pengisian :

Pilihlah salah satu alternatif yang tersedia dengan memberi tanda centang (✓) pada jawaban yang Anda pilih.

Keterangan :

STS : Sangat Tidak Setuju

TS : Tidak Setuju

S : Setuju

SS : Sangat Setuju

No	Aspek Penelitian	Penilaian			
		SS	S	TS	STS
A. Kelayakan Tampilan					
1	Tampilan e-modul menarik dan membuat saya semangat belajar.				
2	Tata letak, jenis huruf, dan warna pada e-modul mudah dibaca dan nyaman.				
3	Animasi, gambar, atau video dalam e-modul membantu saya memahami materi lebih baik.				
B. Kelayakan Isi					
4	Materi yang tercantum dalam e-modul ini sesuai dengan tujuan pembelajaran sehingga saya dapat memahami dengan mudah.				
5	E-modul ini membantu saya dalam memahami konsep yang sulit dengan cara yang lebih sederhana.				
6	Kalimat yang digunakan di dalam e-modul mudah untuk saya mengerti				
7	Latihan soal yang tersedia sesuai dengan materi yang saya pelajari pada masing-masing kegiatan.				
C. Kelayakan Kemanfaatan					
8	Adanya e-modul ini memudahkan saya dalam belajar di kelas.				
9	Saya dapat belajar secara mandiri dengan bantuan modul ini.				
10	Adanya e-modul ini menjadikan saya mampu untuk meningkatkan kemampuan saya dalam menyelesaikan soal-soal.				
11	E-modul membuat saya termotivasi untuk lebih rajin belajar				

Komentar dan saran secara keseluruhan tentang e-modul

Ngawi, 2025

Siswa,

(.....)

Lampiran 16. Hasil Angket Respons Siswa

ANGKET PERSEPSI SISWA TERHADAP E-MODUL FISIKA BERBASIS TPACK MENGGUNAKAN APLIKASI HEYZINE UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOMUNIKASI ILMIAH SISWA

Nama Siswa : DAVID CAHYO GUMILANG
Kelas : XI P

Petunjuk Pengisian :

Pilihlah salah satu alternatif yang tersedia dengan memberi tanda centang (✓) pada jawaban yang Anda pilih.

Keterangan :

STS : Sangat Tidak Setuju

TS : Tidak Setuju

S : Setuju

SS : Sangat Setuju

No	Aspek Penelitian	Penilaian			
		SS	S	TS	STS
A. Kelayakan Tampilan					
1	Tampilan e-modul menarik dan membuat saya semangat belajar.		✓		
2	Tata letak, jenis huruf, dan warna pada e-modul mudah dibaca dan nyaman.		✓		
3	Animasi, gambar, atau video dalam e-modul membantu saya memahami materi lebih baik.		✓		
B. Kelayakan Isi					
4	Materi yang tercantum dalam e-modul ini sesuai dengan tujuan pembelajaran sehingga saya dapat memahami dengan mudah.	✓			
5	E-modul ini membantu saya dalam memahami konsep yang sulit dengan cara yang lebih sederhana.	✓			
6	Kalimat yang digunakan di dalam e-modul mudah untuk saya mengerti		✓		
7	Latihan soal yang tersedia sesuai dengan materi yang saya pelajari pada masing-masing kegiatan.	✓			
C. Kelayakan Kemanfaatan					
8	Adanya e-modul ini memudahkan saya dalam belajar di kelas.	✓			
9	Saya dapat belajar secara mandiri dengan bantuan modul ini.		✓		
10	Adanya e-modul ini menjadikan saya mampu untuk meningkatkan kemampuan saya dalam menyelesaikan soal-soal.	✓			
11	E-modul membuat saya termotivasi untuk lebih rajin belajar	✓			

Komentar dan saran secara keseluruhan tentang e-modul

Modul yang disajikan sangat bagus, terbaru, menarik, kreatif. Belajar dengan modul membuktikan bahwa dalam belajar sumber, metode, Latihan soal. tidak hanya di buku saja tetapi memanfaatkan teknologi, dan memakai kreativitas baru. Saran : lebih-lebih buat modul seperti ini; Perbanyak contoh; ringkas, dan perbanyak pustaka. Supaya lebih menarik.

Ngawi, 20 Mei 2025
Siswa,



(DAVID CAHYO G.)

Lampiran 17. Rekapitulasi Hasil Angket Respons Siswa

no	Pernyataan										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
2	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2
4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4
5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
6	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4
7	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4
8	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3
9	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3
10	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
11	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4
13	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4
14	4	4	3	3	3	3	4	4	2	3	3
15	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3
16	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
17	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4
18	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
19	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3
20	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
21	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	3

22	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3
23	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3
24	4	4	3	4	3	3	2	3	2	3	4
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
26	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3
27	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	4
28	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4
29	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3
30	3	2	3	3	3	2	4	2	3	3	3
31	3	3	2	3	2	3	4	4	3	3	2
32	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
33	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4
34	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3
35	4	4	3	4	3	4	4	3	2	3	3
jml	12 5	12 3	12 2	12 6	11 7	11 7	12 0	12 3	11 3	117	11 6
ma x	14 4	144	14 4	14 4	14 4	14 4	14 4	14 4	14 4	144	14 4
%	86, 8	85, 4	84, 7	87, 5	81, 2	81, 2	83, 3	85, 4	78, 4	81,2 5	80, 5
Rata-rata %				83,2							

rekapitulasi angket respons siswa

ASPEK

kelayakan tampilan 3

PERSENTASE

85.64814815 SANGAT LAYAK

KRITERIA

kelayakan isi 4

83.33333333 SANGAT LAYAK

kelayakan kemanfaatan 4

81.42361111 SANGAT LAYAK

Lampiran 18. Rekapitulasi Hasil Nilai Uji Coba

Nama Siswa	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	x p1	x p2	x p3	x p4	x p5	x p6	x p7	x p8	x p9	x p10	x p11	x p12	x p13	x p14	x p15	x p16	x p17	x p18	x p19	x p20	Total Skor	Nilai %	
ADIN N ZAHRIATURORIH	4	3	2	3	2	3	3	2	4	3	2	3	3	4	3	2	3	3	3	3	58	73	
AIDA NURHIDAYAH	4	3	3	3	1	3	1	3	4	3	2	3	3	4	3	3	3	4	2	4	4	60	73
ALIM ROIMAD	3	4	2	3	3	4	2	1	4	3	1	3	3	3	3	3	1	3	3	3	55	69	
ARINDA ANGGUN	4	3	1	3	2	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	62	78	
AIRON BRAMANSTA	4	4	2	3	2	4	2	3	4	3	3	4	3	4	4	4	2	3	3	61	76		
ATHA HIDAYATULLAH	3	4	2	3	2	3	3	2	4	4	2	4	3	3	3	4	3	1	3	3	59	74	
AVALUDIN NUR AULIYA	4	3	2	3	2	3	2	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	1	4	4	61	76	
BUTANG SURIA NURBADI	3	3	3	2	4	3	2	3	4	2	3	3	3	4	3	3	4	2	4	3	61	76	
DAFFA FAHREIAN	3	4	3	3	2	4	2	3	3	3	2	4	3	4	4	3	3	3	3	4	63	79	
DANVINA MIFTA	4	3	3	3	3	2	3	4	3	1	4	3	3	3	3	3	1	4	4	4	61	76	
DIAMI ANU	2	3	2	2	3	1	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	1	3	3	3	47	59	
ELVINA CINDY	3	4	2	2	1	2	3	2	3	4	1	2	3	3	3	3	4	3	4	3	53	66	
FADHILAH ARTHA	2	3	3	3	1	4	2	3	4	3	3	3	3	4	2	3	1	3	3	3	57	71	
FARODATUS SHOLIKHAN	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2	1	2	2	3	3	3	2	3	3	2	48	60	
GASTI ACINTHA	3	3	2	2	3	3	2	2	3	1	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	47	59	
HASNA IMTI	3	4	2	2	2	3	2	1	3	4	1	3	3	3	3	2	2	1	4	3	51	64	
LEDI ROZZA	2	3	1	1	1	2	2	1	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	49	61	
MAKAYA SYIFA	3	3	1	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	1	3	49	61	
MEGA KARTIKA	3	1	1	3	2	2	3	3	2	1	1	2	3	3	3	3	2	4	3	48	60		
MUHAMMAD NUR AFANDI	2	2	1	2	3	2	2	1	3	3	2	3	2	2	2	3	3	1	4	46	58		
MUHAMMAD RAFI	2	2	3	3	2	1	2	2	3	1	4	3	3	2	2	3	2	3	3	48	60		
MUHAMMAD ZACKY'	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2	1	4	4	54	68		
MUJAHIDAH MEDAFAROS	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	4	3	3	2	2	3	3	3	3	53	66		
NESSA KAMILA	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	4	2	4	3	3	2	3	3	51	64		
PASTIKA CALISTA	3	3	2	1	2	3	1	3	2	3	3	2	3	3	3	3	4	2	3	2	51	64	
RAEGIL AIU	2	2	3	1	2	3	1	2	2	2	3	2	1	2	2	3	1	3	2	41	51		
RAKATAMA NUGROHO	2	3	1	1	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	3	42	53		
REVA ALVIANA	3	3	1	2	3	2	1	3	1	2	2	3	2	1	2	3	3	2	2	3	44	55	
REYHAN WAHYU	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	49	61		
RIDIQ DITA	2	3	2	3	1	2	1	2	3	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	47	59		
SELVIA DWI OKTAVIANI	3	2	1	2	2	3	2	2	3	1	2	2	2	1	3	3	1	3	2	42	53		
SINTA NURAINI	3	2	1	3	2	3	2	2	3	2	1	2	2	3	2	3	2	3	2	45	56		
TOO REZA	2	2	1	3	2	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	2	3	2	3	41	51		
ULFA FARKHIANA	3	2	2	2	3	3	1	3	2	3	1	3	3	2	3	3	2	3	3	51	64		
YUDISTIRA GHAMNUU	2	3	1	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	1	3	2	47	59		

Lampiran 19. Lembar Jawab Uji Coba Siswa

Sinta Nuraini
xi - c (32)

56

1. Bunyi infrasonik frekuensi rendah, didengar gajah.
ultrasonik 20-20000 Hz, didengar manusia
Ultrasonik di atas 20000 Hz, dipakai kelerawar dan USG 3
2. Kalau suhu naik, bunyi juga cepat. 2
3. Jarak jauh bikin suara lebih keras. 1
4. Suara terikatan lebih besar, sehingga terdengar lebih nyaring. 3
5. Botol rendah, gelas tinggi. 2
6. Ketika suara dipantulkan dari dinding, itu disebut refleksi bunyi.
Sarah satu contohnya adalah sonar kapal selam. 3
7. Kalau malam, suasana bikin suara petir lebih keras. 2
8. Karena ventilasi terbuka, suara musik bisa terdengar dari luar 2
9. Dua sumber suara bisa memperkuat atau memperlentah satu sama lain.
Konstruktif = kuat, destruktif = lemah. 3
10. Kadang dua suara bikin bunyi aneh naik turun. 2
11. Ketika bergerak mendekat, suaranya tinggi, tapi ketika menjauh jadi lebih lemah. 2
12. Mobil kedengaran beda kalau datang cepat. 1
13. menggunakan perhitungan. $f' = 400 \times \frac{370}{340} = 435$ 3
14. $\mu = 0,02 / 0,6$

$$f = \left(\frac{\pi}{2 \times 0,6} \right) \times \sqrt{\frac{30}{\mu}} = 50 \text{ Hz}$$
 2
15. $f = \frac{340}{\pi}$
 $\pi = \frac{3}{2} \rightarrow \frac{340}{1,5} = 226,7 \text{ Hz}$ 3
16. Suling karena ada udara didalamnya, gitar karena senarnya bergerak. 2
17. Volume Intensitas (dB)

30%	65	3
60%	82	
90%	95	
18. Sensor parkir. Bisa bantu mobil biar gak nabrak belakang. 2
19. - Pengelasan ultrasonik : gelarán frekuensi tinggi menyebabkan logam menyatu tanpa panas.
- ultrasonik testing : mengirim gelombang ke logam, pantulanannya dianalisis untuk mendekati relakan. 3
20. USG digunakan untuk memeriksa ibu hamil dan bagian dalam tubuh.
Biasanya dokter memakai alat ini saat cek. 2

Lampiran 20. Hasil Uji Validitas Instrumen Tes

ITEM STATISTICS: MISFIT ORDER

ENTRY NUMBER	TOTAL SCORE	TOTAL COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	ZSTD	OUTFIT MNSQ	ZSTD	PTMEASUR. CORR.	AL EXP.	EXACT OBS%	MATCH EXP%	ITEM
18	67	35	1.61	.27	1.68	2.71	1.65	2.62	A-.03	.47	48.6	53.2	P18
12	97	35	-.47	.27	1.26	1.11	1.24	1.03	B-.48	.46	45.7	56.7	P12
19	105	35	-1.06	.28	1.23	.98	1.21	.92	C-.46	.44	51.4	57.5	P19
11	67	35	1.61	.27	1.21	.97	1.18	.88	D-.24	.47	48.6	53.2	P11
10	97	35	-.47	.27	1.19	.85	1.19	.85	E-.61	.46	51.4	56.7	P10
3	68	35	1.53	.27	1.11	.57	1.16	.79	F-.46	.47	54.3	53.3	P3
5	72	35	1.25	.26	1.15	.75	1.15	.72	G-.04	.48	54.3	53.6	P5
7	75	35	1.05	.26	1.10	.53	1.10	.50	H-.27	.48	48.6	55.0	P7
17	104	35	-.99	.28	1.04	.24	1.05	.28	I-.34	.45	51.4	57.3	P17
14	101	35	-.76	.27	1.04	.26	1.03	.21	J-.80	.45	45.7	57.3	P14
8	74	35	1.12	.26	.98	.00	.97	-.05	j-.34	.48	54.3	54.6	P8
6	99	35	-.61	.27	.97	-.06	.97	-.07	i-.58	.45	48.6	57.1	P6
2	99	35	-.61	.27	.94	-.18	.94	-.17	h-.59	.45	60.0	57.1	P2
9	102	35	-.84	.27	.90	-.37	.90	-.36	g-.63	.45	60.0	57.3	P9
20	103	35	-.91	.28	.87	-.52	.86	-.55	f-.53	.45	60.0	57.2	P20
4	86	35	.30	.26	.82	-.76	.79	-.90	e-.53	.47	65.7	56.2	P4
15	95	35	-.33	.27	.75	-1.13	.74	-1.17	d-.55	.46	68.6	55.8	P15
1	100	35	-.69	.27	.70	-1.39	.71	-1.31	c-.69	.45	54.3	57.1	P1
16	97	35	-.47	.27	.60	-1.94	.60	-1.98	b-.46	.46	65.7	56.7	P16
13	94	35	-.26	.27	.57	-2.12	.58	-2.07	a-.64	.46	77.1	55.8	P13
MEAN	90.1	35.0	.00	.27	1.01	.0	1.00	.0			55.7	55.9	
P.SD	13.5	.0	.94	.00	.25	1.1	.25	1.1			8.2	1.5	

►TABLE 10.3 KELAS UJI COBA.xlsx
 INPUT: 35 PERSON 20 ITEM REPORTED: 35 PERSON 20 ITEM 4 CATS WINSTEPS 4.7.0.0
 ZOU216WS.TXT Jun 7 2025 9: 0

Lampiran 21. Hasil Uji Reliabilitas Instrumen Tes

SUMMARY OF 35 MEASURED PERSON

	TOTAL SCORE	COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	ZSTD	OUTFIT MNSQ	ZSTD
MEAN	51.5	20.0	.13	.36	1.00	.00	1.00	-.01
SEM	1.1	.0	.14	.00	.05	.18	.05	.17
P.SD	6.5	.0	.82	.01	.29	1.02	.29	1.02
S.SD	6.6	.0	.84	.01	.30	1.04	.30	1.03
MAX.	63.0	20.0	1.62	.38	1.57	1.73	1.57	1.71
MIN.	41.0	20.0	-1.17	.35	.43	-2.33	.44	-2.27
REAL RMSE	.38	TRUE SD	.73	SEPARATION	1.94	PERSON RELIABILITY	.79	
MODEL RMSE	.36	TRUE SD	.74	SEPARATION	2.09	PERSON RELIABILITY	.81	
S.E. OF PERSON MEAN	= .14							

PERSON RAW SCORE-TO-MEASURE CORRELATION = 1.00

CRONBACH ALPHA (KR-20) PERSON RAW SCORE "TEST" RELIABILITY = .81 SEM = 2.88

STANDARDIZED (50 ITEM) RELIABILITY = .92

SUMMARY OF 20 MEASURED ITEM

	TOTAL SCORE	COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	ZSTD	OUTFIT MNSQ	ZSTD
MEAN	90.1	35.0	.00	.27	1.01	.03	1.00	.01
SEM	3.1	.0	.22	.00	.06	.26	.06	.25
P.SD	13.5	.0	.94	.00	.25	1.12	.25	1.10
S.SD	13.9	.0	.97	.00	.26	1.15	.25	1.13
MAX.	105.0	35.0	1.61	.28	1.68	2.71	1.65	2.62
MIN.	67.0	35.0	-1.06	.26	.57	-2.12	.58	-2.07
REAL RMSE	.28	TRUE SD	.90	SEPARATION	3.19	ITEM RELIABILITY	.91	
MODEL RMSE	.27	TRUE SD	.90	SEPARATION	3.36	ITEM RELIABILITY	.92	
S.E. OF ITEM MEAN	= .22							

ITEM RAW SCORE-TO-MEASURE CORRELATION = -1.00

Global statistics: please see Table 44.

UMEAN=.0000 USCALE=1.0000

Lampiran 22. Hasil Uji Daya Beda Instrumen Tes

ITEM STATISTICS: MISFIT ORDER

ENTRY NUMBER	TOTAL SCORE	TOTAL COUNT	MEASURE	MODEL		INFIT		OUTFIT		PTMEASUR-AL		EXACT MATCH		ITEM
				S.E.	MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD	CORR.	EXP.	OBS%	EXP%		
18	67	35	1.61	.27	1.68	2.71	1.65	2.62	A-.03	.47	48.6	53.2	P18	
12	97	35	-.47	.27	1.26	1.11	1.24	1.03	B-.48	.46	45.7	56.7	P12	
19	105	35	-1.06	.28	1.23	.98	1.21	.92	C-.46	.44	51.4	57.5	P19	
11	67	35	1.61	.27	1.21	.97	1.18	.88	D-.24	.47	48.6	53.2	P11	
10	97	35	-.47	.27	1.19	.85	1.19	.85	E-.61	.46	51.4	56.7	P10	
3	68	35	1.53	.27	1.11	.57	1.16	.79	F-.46	.47	54.3	53.3	P3	
5	72	35	1.25	.26	1.15	.75	1.15	.72	G-.04	.48	54.3	53.6	P5	
7	75	35	1.05	.26	1.10	.53	1.10	.50	H-.27	.48	48.6	55.0	P7	
17	104	35	-.99	.28	1.04	.24	1.05	.28	I-.34	.45	51.4	57.3	P17	
14	101	35	-.76	.27	1.04	.26	1.03	.21	J-.80	.45	45.7	57.3	P14	
8	74	35	1.12	.26	.98	.00	.97	-.05	K-.34	.48	54.3	54.6	P8	
6	99	35	-.61	.27	.97	-.06	.97	-.07	L-.58	.45	48.6	57.1	P6	
2	99	35	-.61	.27	.94	-.18	.94	-.17	M-.59	.45	60.0	57.1	P2	
9	102	35	-.84	.27	.90	-.37	.90	-.36	N-.63	.45	60.0	57.3	P9	
20	103	35	-.91	.28	.87	-.52	.86	-.55	O-.53	.45	60.0	57.2	P20	
4	86	35	.30	.26	.82	-.76	.79	-.90	P-.53	.47	65.7	56.2	P4	
15	95	35	-.33	.27	.75	-1.13	.74	-1.17	Q-.55	.46	68.6	55.8	P15	
1	100	35	-.69	.27	.70	-1.39	.71	-1.31	R-.69	.45	54.3	57.1	P1	
16	97	35	-.47	.27	.60	-1.94	.60	-1.98	S-.46	.46	65.7	56.7	P16	
13	94	35	-.26	.27	.57	-2.12	.58	-2.07	T-.64	.46	77.1	55.8	P13	
MEAN	90.1	35.0	.00	.27	1.01	.0	1.00	.0			55.7	55.9		
P. SD	13.5	.0	.94	.00	.25	1.1	.25	1.1			8.2	1.5		

▲TABLE 10.3 KELAS UJI COBA.xlsx ZOU216WS.TXT Jun 7 2025 9: 0
INPUT: 35 PERSON 20 ITEM REPORTED: 35 PERSON 20 ITEM 4 CATS WINSTEPS 4.7.0.0

Lampiran 23. Hasil Uji Tingkat Kesukaran Instrumen Tes

ITEM STATISTICS: MISFIT ORDER

ENTRY NUMBER	TOTAL SCORE	TOTAL COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT		OUTFIT		PTMEASU R CORR.	-AL EXP.	EXACT OBS%	MATCH EXP%	ITEM
					MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD					
18	67	35	1.61	.27	1.68	2.71	1.65	2.62	A-.03	.47	48.6	53.2	P18
12	97	35	-.47	.27	1.26	1.11	1.24	1.03	B .48	.46	45.7	56.7	P12
19	105	35	-1.06	.28	1.23	.98	1.21	.92	C .46	.44	51.4	57.5	P19
11	67	35	1.61	.27	1.21	.97	1.18	.88	D .24	.47	48.6	53.2	P11
10	97	35	-.47	.27	1.19	.85	1.19	.85	E .61	.46	51.4	56.7	P10
3	68	35	1.53	.27	1.11	.57	1.16	.79	F .46	.47	54.3	53.3	P3
5	72	35	1.25	.26	1.15	.75	1.15	.72	G-.04	.48	54.3	53.6	P5
7	75	35	1.05	.26	1.10	.53	1.10	.50	H .27	.48	48.6	55.0	P7
17	104	35	-.99	.28	1.04	.24	1.05	.28	I .34	.45	51.4	57.3	P17
14	101	35	-.76	.27	1.04	.26	1.03	.21	J .80	.45	45.7	57.3	P14
8	74	35	1.12	.26	.98	.00	.97	-.05	j .34	.48	54.3	54.6	P8
6	99	35	-.61	.27	.97	-.06	.97	-.07	i .58	.45	48.6	57.1	P6
2	99	35	-.61	.27	.94	-.18	.94	-.17	h .59	.45	60.0	57.1	P2
9	102	35	-.84	.27	.90	-.37	.90	-.36	g .63	.45	60.0	57.3	P9
20	103	35	-.91	.28	.87	-.52	.86	-.55	f .53	.45	60.0	57.2	P20
4	86	35	.30	.26	.82	-.76	.79	-.90	e .53	.47	65.7	56.2	P4
15	95	35	-.33	.27	.75	-1.13	.74	-1.17	d .55	.46	68.6	55.8	P15
1	100	35	-.69	.27	.70	-1.39	.71	-1.31	c .69	.45	54.3	57.1	P1
16	97	35	-.47	.27	.60	-1.94	.60	-1.98	b .46	.46	65.7	56.7	P16
13	94	35	-.26	.27	.57	-2.12	.58	-2.07	a .64	.46	77.1	55.8	P13
MEAN	90.1	35.0	.00	.27	1.01	.0	1.00	.0			55.7	55.9	
P. SD	13.5	.0	.94	.00	.25	1.1	.25	1.1			8.2	1.5	

TABLE 10.3 KELAS UJI COBA.xlsx ZOU216WS.TXT Jun 7 2025 9: 0
INPUT: 35 PERSON 20 ITEM REPORTED: 35 PERSON 20 ITEM 4 CATS WINSTEPS 4.7.0.0

Lampiran 24. Lembar Jawab Pretest-Posttest kelas Kontrol

ALDI MEIDIANTORO XI.B (2)	Pretest <i>10 Mei - 2014</i> <i>(Y2)</i>
<p>1. Suara Mengelir Karna Intensitas berkurang Saat Mendekat</p> <p>2. Gelombang bunyi di bawah kebawah Sama Matam Karna Suku 3</p> <p>3. Karna Ventilasi berfungsi Sebagai Sutan Suara !</p> <p>4. Karna Suaranya tertutup angin kearah kita 2</p> <p>5. Sama motor bergerak ke arah kita Suaranya beda dan itu bisa di kaitkan dengan Perubahan bunyi !</p> <p>6. Volume suara 65dB sedangkan 95dB Cukup Pausi tabel 1</p>	
ALDI MELVIANTORO XI.B (2)	Post <i>(91) 25/5/2015</i>
<p>1. Suara Makin Lemah dengan jarak Karna Intensitasnya yang mengikuti Kurva Invers Kwardat</p> <p>2. Karna refleksi bunyi ke bawah akibat distribusi sumbu matam Suara pergi terkena lebih keras !</p> <p>3. bunyi Mengalami difraksi di Ventilasi Senyawa masih bisa terkena walaupun tertutup 4</p> <p>4. Efek Doppler menyebabkan Perubahan frekuensi yang terkena karna perpindah sumber gerak dan mendengar</p> <p>5. Motor Walaupun dikeluarkan Suaranya berubah waktunya lewat 2</p> <p>6. Volume 30, 60, 90, Waktunya 65dB, 82dB, 95dB. 2</p>	

Lampiran 25. Lembar Jawab Pretest Posttest Kelas eksperimen

<p>Ain Rama Septiarta Kelas: XI - A (03)</p> <p>1. Suaranya makin pelan kalau kata menjauh. 3 2. Gelombang bunyi dibiasakan ke bawah saat malam karena suhu. 3 3. karena ventilasi terhalang suara keluar. 1 4. suaranya bawah sesuai arah geraknya. 2 5. motor makin dekat makin berisik. 1 6. saya masih ingat data saya sebelumnya, sepertinya saya catat kayak gini: go ?, itu 95dB, 60% itu 82 dB, 30% itu 85dB. 2</p>	Jumat - 16 - Mei - 2025 96 Pre.						
<p>Ain Rama Septiarta XI - A (03)</p> <p>1. Ada kaitungan kuadratik negatif antara intensitas bunyi dan jarak dari sumber bunyi. 4 2. Suhu malam membuat suara petir dibiasakan kearah penjenggar. 3 3. suara membelok lewat ventilasi karena difraksi. 3 4. Bunyi sirine terdengar beda karena pergerakan ambulans bergerak terhadap kita. 3 5. suara motor lebih nyaring dan tinggi saat mendekati karena selisih panjang frekuensi. 4 antara gelombang pendek. radar kecepatan bekerja dengan mengukur selisih panjang frekuensi. gelombang awal dan pantulan.</p>	83 Kamis / 15 - 2025 - Post.						
<p>6. % Volume dB</p> <table style="margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">30</td> <td style="padding: 2px;">64</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">60</td> <td style="padding: 2px;">82</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 2px;">90</td> <td style="padding: 2px;">95</td> </tr> </table>	30	64	60	82	90	95	3
30	64						
60	82						
90	95						

Lampiran 26. Rekapitulasi Hasil Nilai Pretest Posttest

Kode Kelas eksperimen	Pretest	Posttest	Kode kelas kontrol	Pretest	Posttest
A1-1	33	92	A2-1	54	92
A1-2	42	88	A2-2	58	71
A1-3	46	83	A2-3	63	75
A1-4	67	88	A2-4	50	75
A1-5	42	79	A2-5	46	88
A1-6	46	92	A2-6	50	71
A1-7	58	83	A2-7	67	75
A1-8	46	83	A2-8	46	83
A1-9	33	79	A2-9	50	88
A1-10	42	88	A2-10	50	79
A1-11	46	75	A2-11	54	83
A1-12	54	92	A2-12	63	88
A1-13	38	79	A2-13	50	83
A1-14	54	92	A2-14	42	75
A1-15	54	88	A2-15	42	75
A1-16	54	96	A2-16	42	83
A1-17	54	100	A2-17	50	79
A1-18	42	92	A2-18	50	83
A1-19	42	96	A2-19	67	83
A1-20	50	83	A2-20	50	88
A1-21	42	88	A2-21	33	79
A1-22	33	88	A2-22	54	79
A1-23	50	100	A2-23	58	88
A1-24	54	88	A2-24	38	92
A1-25	63	88	A2-25	63	83
A1-26	58	96	A2-26	54	75
A1-27	46	92	A2-27	42	83
A1-28	58	92	A2-28	58	83
A1-29	33	83	A2-29	42	92
A1-30	71	100	A2-30	67	88
A1-31	63	88	A2-31	42	79
A1-32	46	100	A2-32	54	79
A1-33	38	96	A2-33	46	71
A1-34	46	88			
A1-35	38	96			
A1-36	67	79			

Lampiran 27. Hasil Uji Normalitas Instrumen Tes

Tests of Normality

Kelas		Kolmogorov-			Shapiro-Wilk		
		Smirnov ^a			Statistic	df	Sig.
		Statistic	df	Sig.			
HAasil	pretest eksperimen	,155	36	,028	,955	36	,152
belajar	posttest eksperimen	,153	36	,032	,947	36	,086
siswa	pretest kontrol	,138	33	,115	,957	33	,207
	posttest kontrol	,144	33	,080	,936	33	,054

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 28. Hasil Uji Homogenitas Instrumen Tes

Test of Homogeneity of Variance

		Levene			Sig.
		Statistic	df1	df2	
HASIL	Based on Mean	1,264	1	67	,265
PRE	Based on Median	,875	1	67	,353
TEST	Based on Median and with adjusted df	,875	1	65,381	,353
	Based on trimmed mean	1,188	1	67	,280
NILAI	Based on Mean	,094	1	67	,761
POST	Based on Median	,081	1	67	,777
TEST	Based on Median and with adjusted df	,081	1	66,518	,777
	Based on trimmed mean	,100	1	67	,752

Lampiran 29. Hasil Uji t- sampel Instrumen Tes

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means							95% Confidence Interval	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
NILAI TEST	Equal variances assumed	,094	,761	-4,947	67	,000	-7,712	1,559	-	-4,601
	Equal variances not assumed			-4,965	66,996	,000	-7,712	1,553	-	-4,612

Lampiran 30. Perhitungan Hasil Uji N-Gain Kelas Eksperimen

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
SKOR_NGAIN	36	,36	1,00	,7842	,14350
PERSENTASE_NGAIN	36	36,36	100,00	78,4171	14,34954
Valid N (listwise)	36				

Lampiran 31. Perhitungan Hasil Uji N-Gain Kelas Kontrol

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
NGain_Persen	33	24,24	87,10	60,5406	15,18914
NGain_Score	33	,24	,87	,6054	,15189
Valid N (listwise)	33				

Lampiran 32. Surat Penunjukkan Pembimbing



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus III) Ngaliyan Semarang 50185
Email: fst@walisongo.ac.id, Web: fst.walisongo.ac.id

Nomor : B.2336/Un.10.8/J6/ DA.08.05/03/2025 Semarang , 10 Maret 2025

Lamp :

Perihal : Penunjukan Pembimbing Skripsi

Kepada Yth:

Dr. Susilawati,M.Pd

Dr. Andi Fadillan, S.Si, M.Sc.

Di tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan hormat kami sampaikan, Berdasarkan hasil pembahasan usulan judul penelitian di Program Studi Pendidikan Fisika, Kami mohon berkenan Bapak/Ibu untuk membimbing Skripsi atas nama :

Nama : Miftahida Pratama Mareta

NIM : 2108066045

Prodi. : Pendidikan Fisika

Judul : **Pengembangan E-modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzen pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA**

Demikian Penunjukan pembimbing Skripsi ini kami sampaikan terima kasih dan untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

a.n. Dekan,
Ketua Prodi Pendidikan Fisika,

Edy Daenuri Anwar, M.Si.
NIP. 19790726 200912 1 002

Tembusan Yth.

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip

Lampiran 33. Surat Permohonan validator



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, Web : <http://fst.walisongo.ac.id>

Nomor : B.3841/Un.10.8/D/SP.01.06/05/2025
Lamp : -
Hal : Permohonan Validasi Instrumen

Kepada Yth.

1. Joko Budi Poernomo, M. Pd.
Dosen validator ahli materi dan ahli media
(Dosen PENDIDIKAN FISIKA FST UIN Walisongo)
2. Agus Sudarmanto M.Si
Dosen validator ahli materi dan ahli media
(Dosen 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:

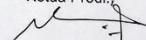
Nama	:	Miftahida Pratama Maretta
NIM	:	2108066045
Program Studi	:	PENDIDIKAN FISIKA
Fakultas	:	Sains dan Teknologi UIN Walisongo
Judul	:	Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA

Demikian atas perhatian dan berkenannya menjadi validator ahli instrumen kami
ucapan terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 06 Mei 2025

an. Dekan,
Ketua Prodi.,



Edy Daenuri Anwar, M.Si.
NIP. 19790726 200912 1 002

Lampiran 34. Surat Pra- 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 Web:Http://fst.walisongo.ac.id

Nomor : B.1156/Un.10.8/K/SP.01.08/01/2025
Lamp : -

Hal : Permohonan Izin Observasi Pra Riset dan Wawancara

Kepada Yth.

Kepala Sekolah SMA Negeri 1 Jogorogo Ngawi
Genggong, Jogorogo, Kec. Jogorogo, Kabupaten Ngawi,
Jawa Timur 63262
di tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Diberitahukan dengan hormat dalam rangka memenuhi tugas akhir Fakultas Sains dan Teknologi, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini :

Nama : **Miftahida Pratama Marea**
NIM : 2108066045
Jurusan : PENDIDIKAN FISIKA
Semester : VIII (Delapan)

Untuk melaksanakan observasi di Sekolah yang Bapak/Ibu pimpin, Maka kami mohon berkenan diijinkan mahasiswa dimaksud, yang akan dilaksanakan pada 03 s.d 07 Februari 2025.

Data Observasi tersebut diharapkan dapat menjadi bahan kajian (analisis) bagi mahasiswa kami.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 31 Januari 2025

an. Dekan,
Kabag. Tata Usaha,

Muh. Kharis, SH, M.H

NIP. 19691017 199403 1 002



Tembusan Yth.

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo (sebagai laporan)
2. Arsip

cp : 085697885855

Lampiran 35. Surat 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. Web: [Http://fst.walisongo.ac.id](http://fst.walisongo.ac.id)

Nomor : B.4011/Un.10.8/K/SP.01.08/05/2025

Semarang, 08 Mei 2025

Lamp : Proposal Skripsi

Hal : Permohonan Izin Riset

Kepada Yth.

Kepala Sekolah SMA Negeri 1 Jogorogo
F7M7+M66, Genggong, Jogorogo, Kec. Jogorogo
Kabupaten Ngawi, Jawa Timur 63262
di tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Diberitahukan dengan hormat dalam rangka penulisan skripsi, bersama ini kami sampaikan
bahwa mahasiswa di bawah ini :

Nama : Miftahida Pratama Mareta
NIM : 2108066045

Jurusan : PENDIDIKAN FISIKA

Judul : Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi
Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan
Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA

Semester : VIII (Delapan)

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 14 Mei 2025.

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



Cp Miftahida Pratama Mareta : 085697885855

Lampiran 36. Surat Keterangan Telah Penelitian

PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
SEKOLAH MENENGAH ATAS NEGERI 1 JOGOROGO
NGAWI

✉ info @sman1jogorogo.sch.id ☎ 08123456789
⊗ (35) Jawa Timur, (35.21) Kab. Ngawi, (35.21.03) Jogorogo, JL. RAYA JOGOROGO

SURAT KETERANGAN
Nomor : 421.7/102/V/2025N

Yang bertanda tangan di bawah ini Kepala SMA Negeri 1 Jogorogo, menerangkan bahwa saudara tersebut di bawah ini:

Nama : Miftahida Pratama Mareta
NIM : 2108066045
Fak/Jurusan : Sains dan Teknologi / Pendidikan Fisika
Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Telah melakukan riset di SMA Negeri 1 Jogorogo untuk keperluan penyusunan skripsi :
Waktu : 14 Mei s.d. 22 Mei 2025
Judul Skripsi : Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine pada Materi Gelombang Bunyi untuk Meningkatkan Keterampilan Komunikasi Ilmiah Siswa Kelas XI SMA

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya



Lampiran 37. E-Modul Fisika Berbasis TPACK Menggunakan Aplikasi Heyzine

The image shows a digital e-module titled "E-MODUL FISIKA GELOMBANG BUNYI" for Class XI SMA/MA, created by Miftahida Pratama Mareta. The cover features a girl wearing headphones and interacting with a laptop, set against a background of sound waves and a lightbulb.

KATA PENGANTAR

Pagi sejuk perpaduan ke hadir Tuhan Yang Maha Esa, koren dengan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyajikan E-Modul Fisika SMA/MA Gelombang Bunyi Kelas XI yang berbasis TPACK. E-modul ini diharapkan bisa memberikan pengetahuan yang lebih luas bagi guru dan siswa dalam proses belajar mengajar.

E-modul ini dapat dijadikan referensi untuk melengkapi kurikulum sekolah dalam meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah siswa. E-modul ini diharapkan dapat memfasilitasi kewaspadaan siswa, memberikan kepuasan serta menunjang siswa dalam memahami dan mengasah konsep yang ada.

Penulis berharap dengan adanya e-modul ini, siswa yang belum begitu bagus bisa mendapat bantuan dan pengembangan. Selain itu, dengan hadirnya e-modul ini, dituntutkan siswa dan pendidik dapat lebih mudah memahami materi gelombang bunyi. Penulis juga sangat mengapresiasi kritik dan saran yang konstruktif untuk pengembangan e-modul ke depan agar semakin baik.

Semarang, April 2025

Miftahida Pratama Mareta
NIM: 2108064045

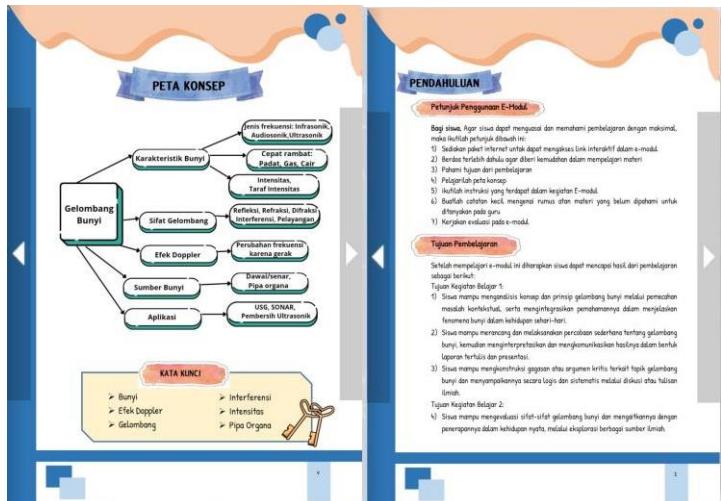
DESKRIPSI E-MODUL

E-modul ini dirancang sebagai bahan gairah terintegrasi berbasis Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) pada materi Gelombang Bunyi siswa kelas XI SMA. Misi dirancang secara kontekstual dan dilengkapi dengan aktivitas eksploratif seperti analisis kasus, praktikum akselerata, serta soal-soal latihan yang mendorong pengembangan keterampilan komunikasi ilmiah siswa.

Melalui pendekatan berbasis TPACK, e-modul ini mengintegrasikan konsep fisika, strategi pembelajaran aktif, serta teknologi pendidikan seperti video dan simulasi digital. E-modul ini juga mendukung Kurikulum Merdeka dan berujuan membantu siswa memahami konsep gelombang bunyi secara lebih mendalam, aplikatif, dan menyenangkan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DESKRIPSI E-MODUL	ii
DAFTAR ISI	iii
PUTA KONSEP	v
PENDAHULUAN	
Pendekripsi Pengembangan E-Modul	1
Tujuan Pembelajaran	1
Pembelajaran Berbasis TPACK dalam E-Modul	2
KOMPETENSI	2
Karakteristik Bunyi	5
Contoh Soal	10
Eksplorasi	12
Rangkuman	16
Mari Berlatih	17
Tugas Refleksi	17
KEGIATAN BELAJAR 2	
Pembahasan	18
Sifat-Sifat Gelombang Bunyi	19
Eff. Doppler	23
Sumber Bunyi	26
Aplikasi Gelombang Bunyi	30
Eksplorasi	31



PENDAHULUAN

Pelajar Penggunaan E-Hold

- Bagi siswa, Agar siswa dapat mengasimilasi dan memahami pembelajaran dengan maksimal, maka diperlukan perlakuan diantaranya:
- 1) Selain berikan penjelasan untuk dapat mengakses link interaktif dalam e-modul.
 - 2) Berdasarkan tugas-tugas dalam e-modul kemudian dalam mendampingi mengerjakan tugas.
 - 3) Pahami tujuan dari pembelajaran
 - 4) Pelajari teknis kerja
 - 5) Membaca teks-teks yang terdapat dalam e-modul
 - 6) Berlatih catatan kewajiban matematika akan mengerjakan tugas dalam e-modul untuk ditempatkan pada guru
 - 7) Kerjakan evaluasi pada e-modul

Tujuan Pembelajaran

- Sehingga merupakan e-modul ini ditargetkan siswa dapat mencapai hasil dari pembelajaran sebagai berikut:
- Tujuan Kepribadian Belajar 5:
- 1) Siswa mampu memahami konsep dan prinsip gelombang bunyi melalui pemecahan masalah kontekstual, serta mensejagtirikan pengetahuannya dalam menjelaskan fenomena bunyi dalam kehidupan sehari-hari.
 - 2) Siswa mampu menganalisis dan menyelesaikan permasalahan terhadap permasalahan bunyi dalam fenomena hidup dan menggunakan metode resolusi dalam menyelesaikan laporan tertulis dan presentasi.
 - 3) Siswa mampu mempraktekkan gagasan atau argumen kerja terkait teknik gelombang bunyi dan manajemenkannya secara Logis dan sistematis melalui diskusi atau halaman i-math.
- Tujuan Kepribadian Belajar 2:
- 4) Siswa mampu mengelusasi sifat-sifat gelombang bunyi dan mengelaskannya dengan penerapannya dalam kehidupan nyata, melalui eksplorasi berbagai sumber ilmiah.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pendahuluan

GELOMBANG BUNYI



Gambar 1 Ultrasoundografi (USG)

Sumber: www.kemendikbud.go.id

Pernahkah kamu mendengar mengenai USG sebelumnya? Apakah ada kelebihan dengan kapasitas fisik tentang bunyi? Selain USG, apakah caranya memerhatikan gelombang bunyi lainnya untuk lebih jituanya nanti pelajaran lebih lanjut?

- Pada kegiatan belajar ini, peserta didik akan:
- Mengerti perbedaan sebenarnya yang melukiskan sumber bunyi dan permasalahan bunyi.
 - Menghafal karakteristik bunyi dengan kelebihan bunyi yang terdengar.
 - Melakukan analisis permasalahan terhadap perbedaan volume, intensitas bunyi, dan taraf intensitas bunyi.
 - Mengandalkan perintah kontekstual terkait intensitas dan taraf intensitas bunyi.
 - Melakukan eksperimen sebenarnya untuk mengamati dan mengukur taraf intensitas bunyi.
 - Hentak informasi dan berbagai sumber seperti buatan dan video pembelajaran.
 - Menyusun hasil pengamatan dan analisis dalam bentuk tabel dan narasi penyajian.

5) Siswa mampu menganalisis permasalahan nyata yang berkaitan dengan gelombang bunyi, kemudian mengembangkan solusi serta menyajikan hasil analisanya dalam bentuk laporan, tabel, grafik, atau paparan lisan.

Pembelajaran Berbasis TPACK dalam E-MODUL

Pembelajaran dalam e-modul ini didasari berdasarkan pendekatan TPACK (Technology Pedagogy and Content Knowledge) yang mengintegrasikan tiga komponen utama:

- 1) Content Knowledge (CK): Materi difokuskan pada topik Gelombang bunyi yang mencakup karakteristik, kecepatan rambat, intensitas, hingga aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.
- 2) Pedagogic Knowledge (PK): Pendekatan pembelajaran berbasis masalah dan penugasan eksploratif digunakan untuk meningkatkan ketertarikan aktif siswa serta mendongkrak keterampilan komunikasi (ilmiah).
- 3) Technological Knowledge (TK): Untuk mendukung pembelajaran menggunakan teknologi seperti video interaktif, aplikasi, perpustakaan online, dan Rupskolah digital, untuk mendukung pembelajaran yang menarik dan fleksibel.

Hedulik kombinasi TPACK ini, e-modul diterapkan:

- 1) Memberi pengalaman belajar yang hermeneutik dan kontekstual.
- 2) Meningkatkan pemahaman konseptual, siswa.
- 3) Mendorong keterampilan komunikasi ilmiah melalui kegiatan berbasis teknologi.

Capaian Pembelajaran

Peserta didik mampu memahami konsep dan prinsip gelombang mekanik, termasuk bunyi dan cahaya, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik juga mampu melakukan pengamatan, eksperimen, dan menyajikan data serta kesimpulan secara logis dan ilmiah.

Indikator Pencapaian Kompetensi

- 1) Mengidentifikasi konsep dasar gelombang bunyi dalam berbagai sumber ilmiah.
- 2) Mengikuti fenomena gelombang bunyi dengan kejadian nyata atau teknologi dalam kehidupan sehari-hari.

Contoh Soal

Hitung cepat rambat bunyi di udara 35°C dan jelaskan pengaruh suhu terhadap suara!

Pembahasan :

Dik:

- Suhu udara : 35°C
- Rumus cepat rambat bunyi di udara:
 $v = 331 + (0,6 \times T)$
- Diketahui : Suhu udara rambat bunyi 35°C dan T : suhu dalam ($^{\circ}\text{C}$)
- $v = 331 + (0,6 \times 35) = 331 + 21 = 352 \text{ m/s}$

Pengaruh suhu terhadap suara:

- Suara berpergantian langsung terhadap cepat rambat bunyi.
- Semakin tinggi suhu, partikel udara bergerak lebih cepat, sehingga gelombang bunyi menyebabkan lebih cepat.
- Selain itu, kalau suhu turun, partikel udara lambat, jadi suara membutuhkan waktu yang lama untuk sampai ke kita.

Hasilnya di suhu 0°C , cepat rambat bunyi sekitar 331 m/s . Tapi di 35°C koyak tidak naik jadi 352 m/s . Jadi mainan hangat, malah ngagih di suranya.

Untuk lebih memahami tentang ini, silahkan tonton video pembelajaran dibawah ini

GELOMBANG BUNYI



10

11

Kegiatan Praktikum Sederhana

Untuk lebih jelas memahami permasalahan yang terjadi, ikuti kegiatan praktikum dibawah ini!

Tujuan Kegiatan:

Siswa dapat:

- Mengetahui dan membandingkan frekuensi (tinggi-rendah) bunyi.
- Mengetahui dan membandingkan amplitudo (kuat-lamanya) bunyi.

Alat dan Bahan:

- Smartphone dengan aplikasi pengukur frekuensi (Sound Meter).
- Smartphone dengan aplikasi pengukur amplitudo (Sound Meter).
- Istinggaran bunyi berbagai macam:

 - Bridi (cacing).
 - Gitar klasik (dipukul dengan peniti).
 - Tutup piring (dibuka sendiri).
 - Buku catatan.

Pembahasan:

Lengkap-tangkap tanggap:

- Siapkan smartphone & alat
- Buka aplikasi "Sound Meter" untuk frekuensi
 - Buka aplikasi "Sound Meter" untuk frekuensi.
 - Buka aplikasi "Sound Meter" untuk amplitudo.
- Uji alat lengkap secara bergerak:
 - Dekatron 10 Hz ke sumbu gerak ($\leq 92 \text{ cm}$).
 - Bunyi lengkap pada frekuensi maksimum (Hz) dari spektrum.
 - Bunyi lengkap dan catat amplitudo maksimum (dB) pada sound meter.
- Ulang pengujian 3 kali untuk setiap benda, catat media.
- Rangkum data dalam tabel.

No.	Benda yang dipakai	Frekuenca rata-rata (Hz)	Amplitudo (dB)
1	Bridi (cacing)		
2	Gitar klasik (dipukul)		
3	Tutup piring (dibuka)		

14

15

Explorasi

Pertahuan lucu lucu berikut ini:

Rangkuman

- Bunyi merupakan gelombang melewati longitudinal, yang memerlukan medium untuk memantulkan seperti udara, air atau padatan.
- Frekuensi bunyi adalah frekuensi rendahnya suara (pitch).
 - Afisisosik (≈ 20 Hz)
 - Afisisosik ($20\text{--}20.000$ Hz)
 - Ultrasonik (> 20.000 Hz)
- Kenyaringan bunyi diperlukan oleh besar kelebihan intensitas gelombang bunyi. Hal ini besar intensitas, makin nyaring suaranya.
- Cepat rambat bunyi di udara dipengaruhi oleh suhu, dengan rumus:

$$v = (331 + 0,67) \text{ m/s}$$

Semakin frekuensi suhu udara, semakin cepat bunyi merambat.

- Intensitas bunyi (I) menyatakan energi per satuan waktu dan luas, dituliskan:

$$I = \frac{P}{T}$$

- Taraf intensitas bunyi ($T(I)$) menyatakan frekuensi intensitas bunyi dalam satuan desibel (dB), dengan rumus:

$$T(I) = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Ditentukan $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, adalah ukuran standar intensitas bunyi minimum.

- Penerapan konsep bunyi dan intensitas bunyi dapat dilihat dalam kejadian sehari-hari, seperti dalam satuan dB pengeras suara dan berbagaikan alat ukur suara.

16

Soal Pintar

- Adakan gerakan dimulai dengan frekuensi bunyi dan logamnya mengalami gelombang dengan frekuensi rendahnya naik.
- Sebaliknya jika gerakan bunyi berdiksi dengan frekuensi rendahnya turun.
- Musik dapat digunakan untuk mengobati penyakit tertentu.
- Sebuah sumber bunyi yang memiliki daya $0,02 \text{ Wef}$ (berperangkat barker dari penulisnya). Aliran intensitas bunyi yang diterima pendengar:

 - Intensitas bunyi yang diterima pendengar
 - Tarif intensitas bunyi dalam satuan desibel (dB)

- Memperbaiki sistem pengeluaran suara dengan teknologi pulsa alterniran suara tersebut sehingga ketika berada pada posisi tertentu akan memberikan energi bunyi.

17

Caption Pembelajaran

Contoh soal dan jawabannya. Kunci jawaban dan standart pencapaian kognitif yang terdapat di bagian akhir modul ini. Pertanyaan jawaban yang benar. Kunci jawaban nomor berurut yang mengandung frekuensi penggunaan kaidah terhadap materi Kajian Bahasa Buku 1.

$$\text{tingkat pengembangan} = \frac{\text{jumlah pertanyaan yang benar}}{\text{jumlah pertanyaan}} \times 100\%$$

Arti tingkat pengembangan:

- 0%--50% = tidak mendapat
- 50%--70% = cukup
- 70%--100% = sangat

Pada kaidah pengembangan pertama dan ketiga buku kaidah, kaidah pengembangan dengan kategori kaidah 2, bagian 2 masih di bawah 50%. Arti kaidah mengandung matiru kaidah kategori kaidah 2, termasuk bagian yang belum dikuasai.

18

KEGIATAN BELAJAR 2

Gambar di atas menunjukkan kejadian yang terjadi ketika seseorang bicara, kita tidak dapat melihat orang di latar belakang, namun suaranya tetap dapat terdengar. Hal ini terjadi karena bunyi memantulkan diri-diri ke arah yang memperkuat gelombang bunyi tersebut. Sebaliknya, bunyi yang memantulkan diri-diri ke arah kita membuat bunyi tersebut hilang.

Pada kegiatan belajar ini, peserta didik akan:

- Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap gelombang bunyi.
- Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap intensitas bunyi.
- Mengidentifikasi faktor-faktor gelombang bunyi dengan frekuensi sferik dan seismik.
- Menginterpretasi hasil pengamatan dan penemuan melalui diskusi, tanya-jawab, presentasi.

19

PENILAIAN HARIAN

A. Berikan tanda centang (/) pada kolom yang kamu sebagi sesuai!

Sebutlah manfaat e-modul ini. Sajikan pada pertanyaan-kamu terhadap materi gelombang bunyi!

No	Pertanyaan	Tujuan	Manfaat	Sesuai
1	Karakteristik bunyi	Evaluasi	Mengetahui karakteristik bunyi	/
2	Energi dan intensitas bunyi	Evaluasi	Mengetahui energi dan intensitas bunyi	/
3	Effek Doppler	Evaluasi	Mengetahui efek doppler	/
4	Sumatera	Evaluasi	Mengetahui sumatera	/

B. Dari manfaat-mana pada e-modul ini, bagaimana yang paling sulit kamu pahami?

C. Sebutlah manfaat e-modul ini, manfaat apa saja yang kamu dapati?

20

EVALUASI DIRI

1. Jelaskan dari dua sumber berbeda (buku dan internet) apa yang dimaksud dengan gelombang longitudinal! Cermati sumber dan simpulkan pengertian sendiri!
2. Isi kolom kuitan kerjaku: "Bunyi tidak dapat merambat di ruang hampa", alasan malah kuitan tersebut dan berikan bukti atau contoh eksperimen!
3. Dengarkan bunyi dari tiga sumber berbeda di sekitarmu (misalnya: suara lipas engin, bel, sepeda, dan suara kerir air merambat). Amati dan bandingkan karakteristiknya (kward/kemal, tinggi/rendah, keras/lembut, jarak/deklik, dan sebagainya).
4. Tuliskan laporan singkat eksperimen tentang rambatan bunyi di sekitar (struktur, hujan, datar, lengkap, data, analisis, kesimpulan).
5. Ubah data jarak dan waktu perambatan bunyi menjadi grafik hubungan park-veloci. Jelaskan apa yang bisa kamu simpulkan dari grafik itu!
6. Bayangan kamu diminta menyampaikan kepada adik kelas mengapa bunyi bisa berdengung lebih cepat di depan dibandingkan di ujung. Tuliskan penjelasanmu secara singkat dan mudah dimengerti!

Catatan Penilaianmu

Cocokanku jawaban Adudu dengan Kunci Jawaban Evaluasi Diri yang terdapat di bagian akhir modul ini. Ihterunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat pengamuan Adudu terhadap materi gelombang bunyi.

$$\text{tingkat pengamuan} = \frac{\text{jumlah jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat pengamuan :
• 90-100% = baik sekali
• 80-89% = cukup
• 70-79% = cukup
• 60-69% = kurang
• < 60% = tidak memenuhi

Apabila mencapai tingkat pengamuan 80% atau lebih, Adudu dapat meneruskan dengan kegiatan pre-test sebagai pengembalan nilai. Bagaimana jika masih di bawah 80%, Adudu harus mengulangi materi gelombang bunyi, berulang lagi selama dikuasai.

36

KUNCI JAWABAN

Kegiatan Belajar 1:

Tugas 1: Analisis Masalah

1. Permasalahan utama yang dihadapi Bu Sari adalah penurunan jumlah pemobil setelah ia mengangkat suara berteriaknya yang keras dengan relawan audisi. Selain itu, ia juga mengeluhkan bahwa suara relawan audisi yang berada di rumahnya sehingga banyak orang tidak nyenyak ketika Bu Sari saat berjalan keliling.
2. Solusi yang tepat adalah meningkatkan kualitas dan volume suara relawan audisi yang digunakan Bu Sari agar lebih terdengar jelas oleh warga. Selain itu, bisa dipertimbangkan penggunaan alat pengeras suara (speaker) yang sesuai dan memadai dengan kebutuhan. Dengan pengetahuan agak lemah membuat permasalahan pembeli.

Berikut ini adalah tugas-tugas selanjutnya:

- a. Evaluasi Relawan Audisi:
 - Evaluasi kerihidupan relawan yang digunakan. Tuliskan posisi jidu, aritmati dan teknik gerak relawan yang masih serta yang masih belum.
 - b. Gunakan Speaker yang lebih besar:
 - Gunakan speaker yang lebih besar, kualitas suara yang lebih bagus dan daya pangang lebih besar. Pilih speaker portabel yang tahan lama dan cocok untuk digunakan di luar rumah.
 - c. Pengaturan volume:
Pengaturan volume tidak terlalu pelik sehingga terdengar, tapi juga tidak terlalu keras agar tidak mengganggu warga.
 - d. Tambahkan teknologi:
Letakkan di ruang keliling dengan media yang hanya untuk melihat seberapa jauh dan seberapa jauh suara relawan audisi yang terdengar di rumah Bu Sari berjalan.
 - e. Tambahan Elek Meiairik (optimalisasi):
Bisa ditambahkan sedikit aksesoris lainnya seperti topi atau efek suara khas untuk menghindari pengaruh cuaca dan lingkungan pada pencairan air.
 - f. Evaluasi dan Minti Maukan dan Pelarangan:
Selain itu, ada baiknya memberikan petunjuk dan pelarangan pada penggunaan speaker agar tidak berdengung lebih lama. Gerakan mundur buat untuk pertahanan selanjutnya.

Relevansi Pengamatan

No.	Bentuk yang diajukan	Frekuenzi (Hz)	Amplitudo (dB)
1	Untuk besong (dingding)		
2	Gelas kacang (dipulih)		
3	Tutup papan (diototik)		

37

DAFTAR PUSTAKA

- Gencsal, C. D. (2001). Fisika Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
Hakim, A. (2021). Gelombang Dan Optika. Medan: Kencana Emas Sejatihera.
Sugiharto. (2016). Fisika SHM/PA Kelas XI. Jakarta: Bumi Aksara.
Sukmono, A., Setiadi, G., & Riyanto, K. (2022). Fisika 2. Bandung: Grafindo Media Pratama.
Suarti, dkk. (2013). Fisika SM-IV Kelas XI IPA. Medan: Agnara.

43

Lampiran 38. Dokumentasi



Kelas XI-C (Uji coba Soal)



Kelas XI-A (melakukan pretest)



Pembelajaran menggunakan e-modul kelas XI-A
(Eksperimen)



Pembelajaran menggunakan buku teks kelas XI-B (Kontrol)



Pengerjaan soal posttest kelas Ekperimen dan kelas kontrol





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. IDENTITAS DIRI

1. Nama : Miftahida Pratama Mareta
2. Tempat & Tgl Lahir : Ngawi, 09 Maret 2003
3. Alamat : Dukuh Gandu, Dusun Dawung Rejo, Desa Dawung, Kecamatan Jogorogo, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur (Rt 03, Rw 01, no 10)

4. No. HP : 085697885855
5. Email : maretamiftah@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Pendidikan Formal
 - a. TK Bayangkari Jakarta Barat
 - b. SD Negeri 16 pagi Jakarta Selatan
 - c. SMP Negeri 48 Jakarta
 - d. SMA Boarding School Mumtaz Ibadurrahman
2. Pendidikan Nonformal
 - a. Pondok Pesantren Mumtaz Ibadurrahman

Semarang,

2025

Miftahida Pratama Mareta
NIM: 2108066045