

**EFEKTIVITAS LKPD BERBASIS TPACK DALAM MENINGKATKAN
PEMAHAMAN KONSEP GELOMBANG BUNYI SISWA KELAS XI SMAN 1
RUPAT**

Nurfiza¹, Zulirfan², Zuhdi Ma'aruf³
Universitas Riau, Pendidikan Fisika FKIP
nurfiza0084@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Physics learning about sound waves is often limited by abstract concepts, resulting in low student conceptual understanding. This study aims to describe students' conceptual understanding after using Technology Pedagogy Content Knowledge (TPACK)-based worksheets and to determine its effectiveness in eleventh-grade students at SMAN 1 Rupert. This study used a quantitative approach with a quasi-experimental posttest-only control group design. The study population consisted of all eleventh-grade students at SMAN 1 Rupert in the 2025/2026 academic year. Sampling was conducted using a cluster random sampling technique, which determined class XI.2 as the experimental group (32 students) taught using TPACK-based worksheets and class XI.4 as the control group (26 students) taught using conventional methods. Data were collected through a multiple-choice posttest consisting of 21 items measuring translation, interpretation, and extrapolation indicators. The results of the descriptive analysis showed that the experimental class achieved a higher overall average score of 83.04 (High category) compared to the control class of 77.66 (High category). Inferential analysis using the Independent Sample T-Test yielded a significance value of 0.008, which is smaller than 0.05, indicating a significant difference in conceptual understanding between the two classes. Furthermore, the calculation of the effect size using the Cohen's d formula obtained a value of 0.73, included in the medium effect category. Based on these empirical findings, it can be concluded that the implementation of TPACK-based worksheets is effective in improving the conceptual understanding of sound waves of eleventh-grade students at SMAN 1 Rupert.

Keywords: *Worksheets, TPACK, Conceptual Understanding, Sound Waves*

ABSTRAK

Pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi sering kali terkendala oleh karakteristik materi yang abstrak, sehingga pemahaman konsep siswa cenderung rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan pemahaman konsep fisika siswa setelah belajar menggunakan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) serta mengetahui seberapa efektif penerapannya pada siswa kelas XI SMAN 1 Rupert. Penelitian ini menggunakan metode kuasi eksperimen (*quasi-experimental*

research) dengan rancangan *posttest-only control group design*. Populasi dalam penelitian seluruh siswa kelas XI SMAN 1 Rupert tahun ajaran 2025/2026. Penentuan sampel dilakukan menggunakan teknik undian kelas (*cluster random sampling*) hingga terpilih kelas XI.2 sebagai kelas eksperimen (32 siswa) dan kelas XI.4 sebagai kelas kontrol (26 siswa). Data penelitian diambil menggunakan instrumen tes pilihan ganda di akhir pertemuan (*posttest*) sebanyak 21 butir soal yang mengukur indikator translasi, interpretasi dan ekstrapolasi. Hasil analisis deskriptif menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan pemahaman konsep siswa pada kelas eksperimen mencapai skor sebesar 83,04 (kategori Tinggi), sedangkan kelas kontrol memperoleh nilai rata-rata sebesar 77,66 (kategori Tinggi). Selanjutnya, hasil analisis inferensial menggunakan uji *Independent Samples T-Test* menghasilkan nilai Sig. sebesar 0,008 ($p \leq 0,05$), yang menunjukkan adanya perbedaan pemahaman konsep yang signifikan antara kedua kelas. Uji lanjutan berupa *effect size* dengan rumus *Cohen's d* memperoleh nilai sebesar 0,73 yang masuk dalam kategori efek sedang. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan LKPD berbasis TPACK efektif dalam meningkatkan kemampuan pemahaman konsep gelombang bunyi siswa kelas XI SMAN 1 Rupert.

Kata Kunci: LKPD, TPACK, Pemahaman Konsep, Gelombang Bunyi

A. Pendahuluan

Pembelajaran fisika di sekolah menengah dituntut untuk membekali siswa dengan kemampuan berpikir ilmiah melalui penguasaan konsep yang kuat. Penguasaan konsep fisika yang baik menjadi landasan penting karena materi fisika bersifat hierarkis dan saling berkaitan (Oktaviana & Putranta, 2024). Melalui pemahaman konsep yang kokoh, siswa diharapkan tidak sekadar menghafal fakta ilmiah, melainkan mampu menjelaskan fenomena alam dan menyelesaikan permasalahan sehari-hari berdasarkan prinsip fisika yang berlaku. Namun pada kenyatannya,

proses penanaman konsep ini sering kali menghadapi hambatan ketika diterapkan pada topik-topik yang bersifat abstrak, seperti materi gelombang bunyi.

Materi gelombang bunyi mengintegrasikan konsep-konsep yang dinamis, meliputi frekuensi, cepat rambat bunyi, resonansi pipa organa, intensitas hingga Efek Doppler. Fenomena-fenomena tersebut tidak dapat diamati secara langsung oleh mata, sehingga memerlukan kemampuan visualisasi yang tinggi dari siswa (Haryadi & Pujiastuti, 2020). Banyak siswa mengalami kesulitan

memvisualisasikan mekanisme fisis gelombang, sehingga mereka cenderung hanya menghafal persamaan matematis secara mekanis tanpa memahami esensi fisis di balik rumus tersebut (Khunaeni, 2021). Hambatan ini diperparah oleh kondisi pembelajaran di sekolah yang masih didominasi oleh perangkat ajar konvensional.

Berdasarkan observasi di SMAN 1 Rupert, proses pembelajaran fisika pada materi gelombang bunyi masih bertumpu pada penjelasan verbal guru dan penggunaan LKPD cetak biasa. LKPD konvensional yang digunakan umumnya hanya memuat ringkasan materi singkat dan kumpulan latihan soal terstruktur. Keterbatasan fasilitas alat laboratorium di sekolah juga menyebabkan kegiatan eksperimen riil jarang dilaksanakan. Akibatnya, LKPD tersebut belum optimal dalam menuntun siswa untuk melakukan eksplorasi atau pengamatan mandiri. Pola pembelajaran searah ini membuat siswa cenderung pasif dan mengalami kesulitan ketika diminta menerapkan konsep fisika pada situasi baru.

Pemanfaatan teknologi informasi dapat menjadi solusi alternatif untuk mengatasi keterbatasan ruang laboratorium fisik melalui visualisasi fenomena abstrak (Haryadi & Pujiastuti, 2020). Integrasi teknologi dalam pembelajaran menuntut persiapan guru yang matang melalui kerangka kerja *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Kerangka TPACK menyelaraskan pengetahuan teknologi (*technology*), strategi pengajaran (*pedagogy*) dan materi pelajaran (*content*) secara seimbang demi menciptakan proses belajar yang efektif (Mishra & Koehler, 2006). Salah satu penerapan praktisnya adalah melalui pengembangan LKPD berbasis TPACK yang menyisipkan tautan video kontekstual serta simulasi virtual interaktif sebagai media pengamatan bagi siswa.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan kerangka TPACK memberikan kontribusi positif dalam pembelajaran sains. Penggunaan media berbasis teknologi dalam TPACK efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan mereduksi beban kognitif siswa (Reski, *et al* 2025). Hasil

serupa dilaporkan oleh Theasy, *et al* (2024) yang menemukan bahwa pembelajaran fisika berbasis TPACK berbantuan simulasi virtual mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa secara signifikan. Meski demikian, penelitian yang menguji efektivitas penggunaan LKPD berbasis TPACK secara spesifik untuk topik gelombang bunyi di tingkat SMA masih perlu diperbanyak untuk memperkuat bukti empiris di lapangan.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan LKPD berbasis TPACK dalam meningkatkan pemahaman konsep gelombang bunyi siswa kelas XI SMAN 1 Rupert. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif bahan ajar inovatif yang dapat digunakan oleh guru fisika di sekolah.

B. Metode Penelitian

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang memanfaatkan data numerik sebagai dasar analisis untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas variabel yang diteliti. Metode

penelitian yang digunakan adalah eksperimen semu (*quasi-experimental research*) dengan desain kelompok kontrol pasca-tes saja (*Posttest-Only Control Group Design*). Dalam rancangan ini, pengukuran kemampuan kognitif subjek penelitian hanya dilakukan satu kali pada akhir perlakuan (*posttest*) tanpa diawali oleh tes awal (*pretest*). Struktur desain eksperimen ini disajikan pada Tabel 1 (Sugiyono, 2023).

Tabel 1. Posttest-only Control Group Design

Kelas	Treatment	Posstest
Eksperimen	X	O ₁
Kontrol	-	O ₂

2. Populai dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh siswa kelas XI SMAN 1 Rupert tahun ajaran 2025/2026 yang terdistribusi ke dalam empat kelas dengan total keseluruhan 113 siswa. Teknik pengambilan sampel ditentukan menggunakan metode *cluster random sampling* (undian kelas). Sebelum perlakuan diberikan, peneliti melakukan uji kesetaraan terhadap kemampuan awal siswa berdasarkan data nilai ulangan harian pada materi fisika sebelumnya. Hasil analisis prasyarat menggunakan bantuan *software*

SPSS menunjukkan bahwa varians antar-kelas bersifat homogen dan berdistribusi normal, sehingga kelompok memiliki titik berangkat kemampuan awal yang setara. Melalui hasil undian kelompok tersebut, ditetapkan kelas XI.2 sebagai kelas eksperimen (32 siswa) dan kelas XI.4 sebagai kelas kontrol (26 siswa).

3. Prosedur Pengumpulan Data

Prosedur pengumpulan data primer dilakukan melalui tiga tahapan terstruktur. Tahap awal dilakukan dengan mengadakan uji prasyarat kesetaraan kemampuan awal sampel. Tahap pelaksanaan perlakuan dilakukan selama empat kali pertemuan di sekolah. Kelas eksperimen mengikuti pembelajaran fisika berbantuan media LKPD berbasis TPACK yang mengintegrasikan video fenomena alam dan simulasi virtual. Sementara itu, kelas kontrol mengikuti pembelajaran biasa melalui metode konvensional (ceramah, tanya jawab) serta menggunakan LKPD konvensional milik sekolah tanpa adanya intervensi teknologi digital. Tahap akhir dilakukan dengan memberikan tes instrumen pasca-tes (*posttest*) secara serentak kepada

kedua kelompok sampel untuk mengukur skor kemampuan akhir mereka.

4. Instrumen Penelitian

Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini berupa tes objektif hasil belajar kognitif berbentuk pilihan ganda dengan 5 pilihan jawaban sebanyak 21 butir soal. Sebelum digunakan di sekolah, lembar instrumen ini telah melalui proses validasi oleh dosen ahli di bidang pendidikan fisika untuk menjamin kesesuaian antara butir materi, indikator kognitif dan bahasa. Butir soal tes dirancang secara proporsional untuk memetakan capaian siswa berdasarkan tiga indikator pemahaman konsep menurut kriteria Bloom (1956), sebagaimana dijabarkan dalam kisi-kisi instrumen pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisi-Kisi Instrumen Pemahaman Konsep

Indikator	Nomor Butir Soal
Translasi	1, 6, 7, 12, 13, 18, 19
Interpretasi	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20
Ekstrapolasi	3, 4, 9, 10, 15, 16, 21
Total Soal	21

5. Analisis Deskriptif

Analisis statistik deskriptif diterapkan untuk mengolah data angka hasil mentah skor *posttest* dari kedua kelompok menjadi nilai akhir berskala 0–100. Perhitungan nilai

evaluasi kognitif individu mengadopsi rumus konversi matematis berikut.

$$\text{Nilai Akhir} = \frac{\text{Skor yang Diperoleh}}{\text{Skor Maksimum}} \times 100 \quad (1)$$

Nilai rata-rata ($\bar{x}$) keseluruhan dan per indikator yang diperoleh kemudian dikelompokkan ke dalam kategori interval tingkat penguasaan konsep (Sangat Tinggi, Tinggi, Cukup, Rendah) untuk mendeskripsikan peta profil kemampuan siswa.

6. Analisis Inferensial

Analisis inferensial digunakan untuk melakukan pengujian hipotesis penelitian mengenai ada tidaknya perbedaan rata-rata skor hasil perlakuan secara signifikan. Sebelum uji hipotesis, data *posttest* diuji prasyarat analisisnya terlebih dahulu meliputi uji normalitas sebaran menggunakan uji *Shapiro-Wilk* (karena jumlah sampel per kelompok kurang dari 50 siswa) serta uji homogenitas varians menggunakan uji *Levene* via SPSS. Jika data terbukti berdistribusi normal dan memiliki varians homogen, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan statistik parametrik uji-T dua sampel bebas (*Independent Samples T-Test*) pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Analisis dilanjutkan dengan menghitung nilai

effect size menggunakan formula *Cohen's d* guna mengukur tingkat efektivitas praktis dari perlakuan pembelajaran di kelas.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk mengetahui gambaran pemahaman konsep siswa setelah mengikuti pembelajaran pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata pemahaman konsep siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Kelas eksperimen memperoleh rata-rata sebesar 83,04, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata sebesar 77,66. Rincian data tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Profil Nilai Rata-rata Pemahaman Konsep Siswa

Kelas	Jumlah Siswa (N)	Rata-Rata	Kategori
Eksperimen	32	83,04	Tinggi
Kontrol	26	77,66	Tinggi

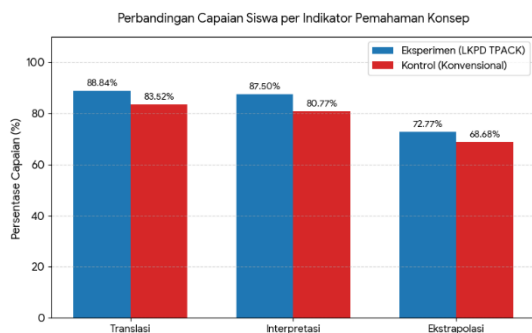
Selain ditinjau dari nilai rata-rata keseluruhan, pemahaman konsep siswa juga dianalisis berdasarkan indikator translasi, interpretasi dan ekstrapolasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh indikator pada kelas eksperimen memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan kelas

kontrol, sebagaimana terangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Capaian Siswa Berdasarkan Indikator Pemahaman Konsep

Indikator	Eksperimen	Kontrol
Translasi	88,84	83,52
Interpretasi	87,5	80,77
Ekstrapolasi	72,77	68,68

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa indikator translasi memperoleh nilai tertinggi pada kedua kelas, sedangkan indikator ekstrapolasi memperoleh nilai terendah. Meskipun demikian, seluruh indikator pada kelas eksperimen menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Untuk mempermudah pembacaan profil pencapaian siswa pada masing-masing indikator kognitif, visualisasinya disajikan dalam bentuk diagram batang pada Grafik 1.



Grafik 1. Perbandingan Persentase Capaian Indikator Pemahaman Konsep Siswa

2. Analisis Inferensial

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, terlebih dahulu dilakukan uji prasyarat analisis yang meliputi uji

normalitas dan uji homogenitas. Hasil pengujian melalui program SPSS menunjukkan bahwa data penelitian berdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan uji parametrik menggunakan uji *Independent Samples T-Test* (p. 6). Rangkuman hasil pengujian hipotesis disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Uji Independent Samples T-Test

Uji Statistik	Nilai Signifikansi (Sig. 2-tailed)	Keputusan Hipotesis
Independent Samples T-Test	0,008	Hipotesis Nol (H_0) Ditolak

Hasil pengujian hipotesis pada Tabel 5 menunjukkan nilai signifikansi (*Sig. 2-tailed*) sebesar 0,008, yang lebih kecil dari batas taraf kesalahan nyata 0,05 ($0,008 \leq 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara pemahaman konsep siswa yang belajar menggunakan LKPD berbasis TPACK dengan siswa yang belajar menggunakan LKPD konvensional.

Untuk mengetahui besarnya kontribusi praktis penggunaan LKPD berbasis TPACK terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa, dilakukan analisis *effect size*

menggunakan Persamaan Cohen's d berikut ini.

$$d = \frac{M_1 - M_2}{SD_{pooled}} \quad (2)$$

Keterangan:

- d : Nilai *Effect Size* (Cohen's d)
- M_1 : Nilai rata-rata skor pemahaman konsep kelas eksperimen
- M_2 : Nilai rata-rata skor pemahaman konsep kelas kontrol
- SD_{pooled} : Standar deviasi (simpangan baku) gabungan kedua kelas

3. Pembahasan

a. Pemahaman Konsep Siswa pada Indikator Translasi

Berdasarkan hasil penelitian, indikator translasi menunjukkan tingkat capaian yang paling tinggi dibandingkan dengan indikator lainnya pada kedua kelas sampel. Kemampuan translasi ini mencerminkan kapasitas mendasar peserta didik dalam mengubah atau menerjemahkan suatu informasi ilmiah dari satu bentuk representasi ke bentuk representasi lainnya tanpa mengubah makna konseptual asli dari prinsip fisika tersebut (Bloom, 1956). Dalam materi gelombang bunyi, proses translasi ini terlihat ketika siswa mampu mengubah pemahaman visual berupa gambar pola rapatan dan renggangan medium menjadi bentuk penjelasan kata-kata (verbal) atau

mentransformasikannya ke dalam bentuk persamaan matematis cepat rambat gelombang.

Tingginya capaian pada indikator translasi ini disebabkan karena aspek ini berada pada tingkatan kognitif pemahaman yang paling awal, sehingga lebih mudah dikuasai oleh siswa dibandingkan aspek interpretasi maupun ekstrapolasi. Pembelajaran menggunakan LKPD berbasis TPACK memberikan dampak yang lebih baik karena bahan ajar ini menyediakan ragam representasi (*multi-representation*) yang disajikan melalui media pembelajaran digital. Integrasi video fenomena nyata dan animasi komputer membuat siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih konkret, sehingga mempermudah mereka dalam menerjemahkan abstraknya mekanisme perambatan bunyi. Hal ini sejalan dengan pandangan Mishra dan Koehler (2006) yang menyatakan bahwa penyelarasan pengetahuan teknologi, pedagogi dan konten materi dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif serta membantu

siswa menangkap esensi materi secara lebih dinamis dan interaktif.

b. Kemampuan Pemahaman Konsep Siswa pada Indikator Interpretasi

Pada indikator interpretasi, kemampuan siswa kelas eksperimen menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kelas kontrol. Kemampuan interpretasi berkaitan erat dengan keterampilan siswa dalam menafsirkan informasi grafik, menjelaskan hubungan sebab-akibat antarvariabel fisis serta menarik makna terdalam dari suatu fenomena alam yang diamati (Maulidina, et al 2024). Karakteristik materi gelombang bunyi banyak memuat grafik hubungan antarvariabel, seperti grafik hubungan antara frekuensi terhadap tinggi nada atau hubungan amplitudo terhadap kuat-lemahnya bunyi yang terdengar.

Keunggulan kelas eksperimen pada aspek ini terjadi karena proses pembelajaran tidak lagi menempatkan siswa sebagai penerima informasi pasif, melainkan mendorong mereka terlibat dalam aktivitas penyelidikan berkelompok yang terstruktur.

Penggunaan teknologi digital dalam kerangka kerja TPACK, seperti laboratorium virtual dan simulasi interaktif, memberikan ruang bagi siswa untuk memanipulasi variabel fisis secara mandiri. Ketika siswa mengubah nilai parameter tertentu pada simulasi, mereka dapat mengamati perubahan grafik fisis secara langsung dan mendengarkan efek suaranya secara bersamaan. Menurut teori belajar konstruktivisme, pengetahuan baru akan terbangun secara kuat di dalam struktur kognitif siswa apabila mereka mengalami sendiri proses penemuan konsep melalui interaksi aktif dengan objek belajarnya (Masgumelar & Mustafa, 2021). Pola pembelajaran aktif ini didukung oleh Purnawati (2020) yang menyatakan bahwa penstrukturan LKPD berbasis teknologi digital sangat efektif untuk memicu keterbelajaran aktif siswa serta membimbing mereka memecahkan masalah kontekstual secara mandiri.

c. Kemampuan Pemahaman Konsep Siswa pada Indikator Ekstrapolasi

Indikator ekstrapolasi mencatatkan skor terendah dibandingkan dengan indikator lainnya, baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Kemampuan ekstrapolasi menempati kedudukan tertinggi dalam ranah kognitif pemahaman karena menuntut siswa untuk berpikir melampaui data awal yang tersedia (Bloom, 1956). Siswa tidak hanya diminta memahami konsep dasar, melainkan harus mampu memproyeksikan hukum fisika untuk memprediksi akibat fisis atau meramalkan suatu kondisi di masa depan ketika dihadapkan pada situasi baru yang belum pernah mereka temui di kelas sebelumnya. Contoh nyata dari aspek ini adalah memprediksi fluktuasi perubahan frekuensi semu pada fenomena Efek Doppler ketika terjadi gerak relatif yang bervariasi antara sumber bunyi dan pendengar.

Rendahnya nilai ekstrapolasi secara umum disebabkan oleh tingginya beban kognitif yang dibutuhkan siswa untuk melakukan penalaran abstrak dan memproyeksikan pola data dinamis. Walaupun indikator ini

memiliki tingkat kesulitan yang tinggi, penerapan LKPD berbasis TPACK terbukti tetap memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan pembelajaran konvensional. Kegiatan eksplorasi video fenomena riil dan simulasi virtual di dalam lembar kerja bertindak sebagai perangkat *scaffolding* kognitif yang meminimalkan sifat abstrak dari gelombang. Pengalaman visual pada pertemuan sebelumnya memberikan landasan intuisi fisis yang kuat, sehingga melatih kemampuan siswa untuk membuat prediksi ilmiah secara lebih logis. Temuan ini diperkuat oleh Masfirah, *et al* (2025) yang menyimpulkan bahwa pengintegrasian komponen teknologi (*Technological Knowledge*) yang disesuaikan dengan materi fisis (*Content Knowledge*) sangat efektif untuk mengeliminasi sifat abstrak dari gelombang bunyi serta melatih kemampuan kognitif siswa dalam menguasai hukum-hukum fisis di dalam kelas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian hipotesis menggunakan *independent sample t-test* yang

didukung oleh analisis *effect size* kategori sedang menunjukkan bahwa penggunaan LKPD berbasis *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep gelombang bunyi siswa kelas XI SMAN 1 Rupert. Temuan ini sejalan dengan penelitian Theasy, *et al* (2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis TPACK mampu meningkatkan pemahaman konsep fisika melalui integrasi teknologi yang mendukung proses visualisasi dan eksplorasi konsep. Hasil penelitian ini juga didukung oleh Masrifah, *et al* (2025) yang menemukan bahwa implementasi bahan ajar berbasis TPACK berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan multi representasi dan pemahaman konseptual peserta didik. Selain itu, Reski, *et al* (2025) memaparkan bahwa penggunaan e-modul fisika berbasis TPACK memberikan dampak positif terhadap peningkatan pemahaman konsep melalui pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna. Dengan demikian, integrasi aspek teknologi, pedagogi dan konten dalam LKPD berbasis TPACK dapat menjadi

strategi yang efektif untuk membantu siswa memahami konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak, termasuk pada materi gelombang bunyi.

Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua siswa pada kelas eksperimen memiliki tingkat penguasaan konsep yang sama, terutama pada indikator ekstrapolasi yang memperoleh rata-rata paling rendah dibandingkan indikator lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam menerapkan konsep pada situasi baru masih memerlukan penguatan. Perbedaan capaian tersebut dapat dipengaruhi oleh variasi kemampuan awal (*prior knowledge*), pengalaman belajar, serta kemampuan masing-masing siswa dalam mengonstruksi pengetahuan baru berdasarkan konsep yang telah dimiliki sebelumnya.

Sejalan dengan teori konstruktivisme, proses belajar terjadi ketika siswa secara aktif membangun pemahaman baru dengan menghubungkannya pada struktur pengetahuan yang telah ada (Masgumelar & Mustafa, 2021). Oleh karena itu, meskipun penggunaan

LKPD berbasis TPACK terbukti efektif meningkatkan pemahaman konsep secara umum, perbedaan kemampuan awal siswa tetap berkontribusi terhadap variasi kedalaman pemahaman konsep yang dicapai selama proses pembelajaran.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep gelombang bunyi siswa kelas XI SMAN 1 Rupert. Capaian pemahaman konsep secara klasikal pada kelas eksperimen secara signifikan menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol yang menggunakan model pembelajaran konvensional.

Ditinjau dari rincian indikator kognitif, peserta didik memperoleh tingkat penguasaan konsep tertinggi pada indikator translasi, diikuti oleh indikator interpretasi dan capaian terendah pada indikator ekstrapolasi. Meskipun aspek ekstrapolasi mencatatkan skor paling rendah akibat tingginya tingkat kesulitan

dalam melakukan penalaran prediktif, performa kognitif siswa pada kelas eksperimen tetap menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan kelas kontrol pada seluruh aspek indikator pemahaman konsep. Selain itu, pengujian *effect size* mengonfirmasi bahwa tingkat efektivitas praktis dari penerapan LKPD berbasis TPACK ini memberikan kontribusi positif dengan kategori efek sedang terhadap peningkatan kualitas kognitif peserta didik di dalam kelas.

Sebagai implikasi dari temuan penelitian ini, guru fisika disarankan untuk mengoptimalkan penggunaan LKPD berbasis TPACK sebagai salah satu alternatif bahan ajar inovatif untuk membantu siswa memvisualisasikan materi fisika yang bersifat abstrak, sekaligus mengatasi keterbatasan sarana laboratorium fisik di sekolah. Bagi peneliti selanjutnya, direkomendasikan untuk memperluas cakupan implementasi perangkat berbasis kerangka kerja TPACK ini pada materi fisika tingkat menengah lainnya yang memiliki karakteristik serupa, serta melakukan analisis mendalam mengenai pengaruh integrasi teknologi ini terhadap keterampilan berpikir tingkat tinggi

(higher-order thinking skills) siswa secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. New York, NY: David McKay Company.
- Haryadi, R., & Pujiastuti, H. (2020). PhET simulation software-based learning to improve science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(2), 1–6. [doi:10.1088/1742-6596/1521/2/022017](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022017)
- Khunaeni, L. N., Yuniarti, W. D., & Khalif, M. A. (2021). Pengembangan modul fisika berbantuan teknologi augmented reality pada materi gelombang bunyi untuk SMA/MA kelas XI. *PERJ: Physics Education Research Journal*, 2(2), 83–94. [doi:10.21580/perj.2020.2.2.6144](https://doi.org/10.21580/perj.2020.2.2.6144)
- Masgumelar, N. K., & Mustafa, P. S. (2021). Teori belajar konstruktivisme dan implikasinya dalam pendidikan dan pembelajaran. *Ghaitsa: Islamic Education Journal*, 2(1), 49–57. [doi:10.62159/ghaitsa.v2i1.188](https://doi.org/10.62159/ghaitsa.v2i1.188)
- Masrifah, M., Amiroh, D., Samsudin, A., Taib, S., Balulu, N., & Costu, B. (2025). The implementation of e-books based on technological pedagogical content knowledge (TPACK) to improve multi-representation ability and physics students' conceptual understanding. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 11(1), 39–52. [doi:10.21009/1.11104](https://doi.org/10.21009/1.11104)
- Maulidina, L., Suana, W., & Ertikanto, C. (2024). Peningkatan kemampuan interpretasi grafik peserta didik melalui aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite pada pembelajaran gerak harmonik sederhana. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)*, 8(2), 67–74.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. [doi:10.1177/016146810610800610](https://doi.org/10.1177/016146810610800610)
- Oktaviana, S., & Putranta, H. (2024). Identification of students' conceptual understanding of sound wave materials through the contextual teaching and learning (CTL) model. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 10, 124–145.
- 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.
- Reski, A., Sari, D. K., Uskenat, K., & Jua, S. K. (2025). Enhancing self-regulated learning and conceptual understanding through a TPACK-based physics e-module on momentum and impulse. *Jurnal Pendidikan*

Fisika, 13(3), 507–522.
[doi:10.26618/vwec8n65](https://doi.org/10.26618/vwec8n65)

Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-2). Bandung: Alfabeta.

Theasy, Y., Bustan, A., Dinata, P. A. C., Nawir, M., Hutahaeen, S. D., Mustika, M., & Sandi, G. A. (2024). Pembelajaran berbasis TPACK berbantuan program Crocodile Physics terhadap peningkatan pemahaman konsep fisika. *Variabel*, 7(2), 85–93.