

PENGARUH PENDEKATAN STEM BERBANTUAN PHYSICS TOOLBOX SENSOR SUITE TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA PADA MATERI GELOMBANG BUNYI

Khairunnisa¹, Yenni Dravina², Ratnawulan³, Dea Stivani Suherman⁴
Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Padang, Padang
E-mail: *khairunnisa220603@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh rendahnya hasil belajar siswa pada mata pelajaran Fisika di SMA Negeri 7 Sarolangun akibat pembelajaran yang kurang kontekstual dan minimnya aktivitas praktikum. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diterapkan pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) yang dibantu oleh aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite pada materi Gelombang Bunyi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pendekatan tersebut terhadap hasil belajar siswa. Metode yang digunakan adalah pre-eksperimen dengan desain one-group pretest-posttest. Sampel terdiri atas peserta didik Fase F jurusan IPA yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Instrumen penelitian meliputi tes pengetahuan, lembar observasi sikap, dan penilaian keterampilan. Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai pretest dan posttest pada aspek pengetahuan ($t = 12,839 > 2,035$) dan keterampilan ($t = 19,696 > 2,035$). Uji Wilcoxon untuk aspek sikap juga menunjukkan hasil signifikan ($z = -7,30 < -1,96$), yang berarti terjadi peningkatan setelah perlakuan. Nilai *effect size* sebesar 2,5 untuk pengetahuan, 1,77 untuk sikap, dan 2,0 untuk keterampilan menunjukkan bahwa efektivitas penerapan pembelajaran ini tergolong tinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pendekatan STEM yang dibantu oleh aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite berpengaruh signifikan dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada materi Gelombang Bunyi di Fase F SMA Negeri 7 Sarolangun, dengan kategori efektivitas yang tinggi.

Kata kunci

Pendekatan STEM, Physics Toolbox Sensor Suite, Gelombang Bunyi, Hasil belajar

ABSTRACT

This research was motivated by the low learning outcomes of students in Physics at SMA Negeri 7 Sarolangun, which were caused by less contextual learning and the lack of practical activities. To address these issues, a STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) approach assisted by the Physics Toolbox Sensor Suite application was implemented in the topic of Sound Waves. This study aimed to determine the effect of this approach on students' learning outcomes. The research employed a pre-experimental method with a one-group pretest-posttest design. The sample consisted of students in Phase F, Science major, selected using a purposive sampling technique. The research instruments included a knowledge test, attitude observation sheets, and skills assessment rubrics. The results of the paired sample t-test indicated a significant difference between the pretest and posttest scores in the knowledge aspect ($t = 12.839 > 2.035$) and the skills aspect ($t = 19.696 > 2.035$). The Wilcoxon test for the attitude aspect also showed a significant result ($z = -7.30 < -1.96$), indicating an improvement after the treatment. The effect size values of 2.5 for knowledge, 1.77 for attitude, and 2.0 for skills suggest that the effectiveness of this learning implementation is categorized as high. Therefore, it can be concluded that the STEM approach assisted by the Physics Toolbox Sensor Suite application has a significant effect on improving students' learning outcomes in the Sound Waves topic for Phase F students at SMA Negeri 7 Sarolangun, with a high level of effectiveness.

Keywords

STEM-based Learning, Physics Toolbox Sensor Suite Application, Sound Wave Concept, Student Learning Outcomes

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang sangat pesat telah memberikan dampak besar dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk pendidikan. Dunia pendidikan saat ini dihadapkan pada tuntutan untuk terus berinovasi dalam meningkatkan kualitas pembelajaran melalui pemanfaatan teknologi secara optimal. Integrasi teknologi dalam proses belajar mengajar bukan lagi sebuah pilihan tambahan, melainkan bagian penting yang harus dilakukan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, efektif, dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21 [1].

Sejalan dengan tuntutan tersebut, guru sebagai pelaksana pembelajaran dituntut untuk mampu merancang strategi pembelajaran yang adaptif, inovatif, dan kontekstual. Pemerintah Indonesia juga telah berupaya mendukung peningkatan kualitas guru melalui berbagai program pelatihan, termasuk penguatan pemanfaatan TIK dalam pembelajaran [2]. Namun, dalam praktiknya, integrasi teknologi dalam pembelajaran—khususnya pada mata pelajaran sains seperti Fisika—masih menghadapi berbagai kendala. Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang memiliki karakteristik abstrak dan konseptual, sehingga sering kali menimbulkan kesulitan bagi siswa dalam membangun pemahaman yang mendalam [3]. Di sisi lain, keterbatasan sarana laboratorium, minimnya praktik eksperimen, serta metode pembelajaran yang kurang bervariasi juga menjadi faktor penghambat dalam tercapainya tujuan pembelajaran Fisika secara optimal [4].

Permasalahan tersebut berdampak dalam capaian hasil belajar siswa di lapangan, yang menunjukkan masih rendahnya penguasaan konsep fisika serta kurang optimalnya perkembangan sikap dan keterampilan peserta didik selama proses pembelajaran berlangsung di SMA Negeri 7 Sarolangun. Berikut adalah data nilai rata-rata Asesmen Sumatif semester ganjil Mata Pelajaran Fisika Fase F kelas XI tahun ajaran 2024/2025 SMA N 7 Sarolangun.

Tabel 1. Nilai Fisika dan Persentase Ketuntasan Asesmen Sumatif semester ganjil Tahun Ajaran 2024/2025 SMA N 7 Sarolangun

No	Kelas	Jumlah Peserta didik	Tuntas		Tidak Tuntas		KKTP
			Jumlah	%	Jumlah	%	
1	Sains 1	34	13	38%	21	62%	75
2	Sains 2	33	10	31,25%	23	68,75%	
3	Sains 3	32	11	34,37%	21	65,63%	

(Sumber: Guru Fisika SMA N 7 Sarolangun)

Berdasarkan data hasil asesmen di SMA Negeri 7 Sarolangun tahun ajaran 2024/2025 tersebut, diketahui bahwa sebagian besar siswa Fase F kelas XI belum memenuhi Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP) pada mata pelajaran Fisika, khususnya pada materi gelombang bunyi. Pembelajaran yang masih bersifat teacher-centered dan jarang melibatkan kegiatan praktik nyata menyebabkan rendahnya partisipasi aktif siswa dan lemahnya pemahaman konsep. Hal ini berdampak pada rendahnya minat belajar, motivasi, serta hasil belajar siswa secara keseluruhan [5]. Oleh karena itu, diperlukan pembaruan pendekatan pembelajaran yang dapat menjawab permasalahan tersebut, baik dari segi konten maupun metode.

Salah satu pendekatan yang relevan untuk diterapkan adalah pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), yang menekankan integrasi antar disiplin ilmu dalam konteks kehidupan nyata. Pendekatan ini mendorong siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif,

sekaligus mengaitkan teori dengan praktik melalui pemecahan masalah kontekstual [6]. Dalam pembelajaran Fisika, pendekatan STEM dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna karena melibatkan proses engineering design, eksperimen, serta penggunaan alat bantu yang berbasis teknologi.

Untuk mendukung implementasi pendekatan STEM secara lebih efektif, penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi sangat diperlukan. Salah satu media yang dapat dimanfaatkan adalah aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS), yaitu aplikasi berbasis Android yang memungkinkan siswa melakukan eksperimen Fisika dengan memanfaatkan sensor bawaan pada perangkat smartphone. Melalui aplikasi ini, siswa dapat mengukur berbagai besaran fisika seperti frekuensi, intensitas bunyi, percepatan, tekanan, dan lain-lain secara real time. Penggunaan PTSS mampu mengatasi keterbatasan alat laboratorium dan menjadikan kegiatan praktikum lebih mudah diakses, murah, dan menarik bagi siswa [7]. Dengan demikian, proses pembelajaran dapat berlangsung lebih interaktif dan berbasis pengalaman langsung.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan pendekatan STEM berbantuan teknologi dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan proses sains, dan hasil belajar siswa [8]. Namun demikian, masih terbatas penelitian yang secara khusus mengkaji integrasi antara pendekatan STEM dengan penggunaan aplikasi PTSS pada materi gelombang bunyi di tingkat SMA. Padahal, materi gelombang bunyi merupakan salah satu bagian dari Fisika yang sangat kontekstual dengan kehidupan sehari-hari dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan melalui pendekatan berbasis STEM.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pendekatan STEM berbantuan aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite* terhadap hasil belajar siswa pada materi gelombang bunyi di SMA Negeri 7 Sarolangun. Fokus penelitian mencakup aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap sebagai indikator hasil belajar yang utuh.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pre-eksperimen dengan desain one-group pretest-posttest. Eksperimen dilakukan tanpa kelompok kontrol dan hanya berfokus pada pengaruh perlakuan terhadap satu kelompok subjek. Dalam desain ini, peserta didik diberikan pretest sebelum perlakuan dan posttest setelah perlakuan untuk mengetahui peningkatan hasil belajar. Rancangan penelitian ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. *one-group pretest-posttest designs*

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O_1	X	O_2

O_1 : pre-test, O_2 : post-test, X : Treatment

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik kelas XI Fase F yang mengikuti mata pelajaran Fisika pada semester genap tahun ajaran 2024/2025 di SMA Negeri 7 Sarolangun, yang berjumlah 103 siswa dari tiga kelas. Sampel penelitian dipilih menggunakan teknik purposive sampling, dengan mempertimbangkan rekomendasi guru mata pelajaran dan capaian akademik siswa. Kelas yang terpilih sebagai sampel adalah kelas sains 1 dengan jumlah 34 siswa.

Penelitian ini terdiri dari tiga variabel, yaitu variabel bebas berupa pendekatan pembelajaran STEM berbantuan aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite*, dan variabel terikat

berupa hasil belajar siswa yang mencakup aspek kognitif, afektif, dan psikomotor serta Variabel kontrol yang mencakup materi gelombang bunyi, durasi pembelajaran, serta lingkungan belajar yang dijaga tetap selama proses perlakuan. Data yang digunakan merupakan data primer, yaitu data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti di lapangan.

Instrumen untuk mengukur aspek kognitif berupa tes uraian yang diberikan sebelum dan sesudah perlakuan. Soal-soal dikembangkan berdasarkan kisi-kisi dan telah divalidasi melalui uji coba dan analisis statistik [9]. Aspek afektif diukur menggunakan lembar observasi dengan indikator percaya diri yang dinilai menggunakan skala Likert. Sementara itu, aspek psikomotor diukur saat kegiatan praktikum menggunakan rubrik penilaian kinerja yang mencakup tahapan persiapan alat, pengambilan data, pengolahan data, dan penyampaian hasil.

Sebelum perlakuan, siswa diberikan pretest untuk mengukur pengetahuan awal. Perlakuan dilaksanakan dalam enam kali pertemuan menggunakan pendekatan STEM yang terintegrasi dengan aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite*. Pertemuan pertama diawali dengan pemberian pretest untuk mengukur pengetahuan awal siswa, dilanjutkan dengan pengenalan konsep dasar gelombang bunyi dan orientasi penggunaan aplikasi PTSS. Pada pertemuan kedua hingga kelima, siswa terlibat dalam kegiatan pembelajaran berbasis STEM yang meliputi eksplorasi intensitas dan frekuensi bunyi, pengukuran cepat rambat gelombang, serta eksperimen resonansi dan pemantulan bunyi. Selain itu, siswa juga melaksanakan proyek mini berupa perancangan ruang kedap suara sederhana menggunakan bahan peredam, dan menguji efektivitas desain mereka menggunakan fitur sensor pada PTSS. Pertemuan keenam ditutup dengan pemberian posttest untuk mengevaluasi peningkatan hasil belajar, serta diskusi simpulan yang melibatkan refleksi terhadap proses dan hasil pembelajaran yang telah dilalui. Selama proses pembelajaran, aspek afektif diamati secara langsung, dan posttest diberikan pada akhir perlakuan untuk mengukur peningkatan hasil belajar kognitif. Penilaian psikomotor dilakukan selama praktikum menggunakan rubrik yang disesuaikan dengan standar penilaian pendidikan nasional.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan beberapa teknik statistik. Uji normalitas data dilakukan dengan metode Liliefors untuk mengetahui distribusi data. Jika data terdistribusi normal, maka dilakukan uji paired sample t-test untuk mengetahui perbedaan hasil belajar sebelum dan sesudah perlakuan. Namun, jika data tidak berdistribusi normal, digunakan uji Wilcoxon Signed-Rank Test sebagai alternatif. Setelah didapatkan hasil pada uji normalitas, dilanjutkan dengan uji hipotesis untuk mengetahui apakah hipotesis diterima atau ditolak. Selain itu, untuk mengukur besar peningkatan hasil belajar siswa, digunakan uji N-Gain (normalized gain) dengan rumus sebagai berikut:

$$N\text{ Gain} = \frac{\text{mean skor posttest} - \text{mean skor pretest}}{\text{nilai ideal (100)} - \text{mean skor pretest}} \quad (1)$$

Klasifikasi hasil N-Gain mengacu pada kategori yang dikemukakan oleh Rustam, Fauzi, dan Syafriani (2019), yaitu: kategori tinggi ($\geq 0,7$), sedang ($0,3-0,7$), dan rendah ($< 0,3$).

Selanjutnya, untuk mengetahui besar pengaruh perlakuan, dilakukan perhitungan effect size menggunakan rumus Cohen's d. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Effect size (Cohen's } d) = \frac{M_{post} - M_{pre}}{\sqrt{\frac{SD_{pre}^2 + SD_{post}^2}{2}}}$$

(2)

Hasil analisis ini diinterpretasikan berdasarkan klasifikasi dari Cohen, yaitu: efek kecil (0–0,49), efek sedang (0,50–0,79), dan efek besar ($\geq 0,80$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pembelajaran berbasis STEM yang didukung oleh aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite* menunjukkan pengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa pada materi gelombang bunyi. Evaluasi efektivitas pembelajaran ini dilakukan melalui serangkaian instrumen yang mencakup tes awal dan akhir serta observasi langsung selama proses pembelajaran berlangsung. Penilaian terhadap capaian belajar siswa dirancang secara menyeluruh, mencakup tiga aspek utama dalam taksonomi pembelajaran, yakni pengetahuan (kognitif), sikap (afektif), dan keterampilan (psikomotor).

Pada aspek kognitif, siswa diberikan soal uraian baik sebelum maupun sesudah diterapkan pembelajaran dengan pendekatan STEM berbantuan *Physics Toolbox Sensor Suite*. Instrumen tes ini difokuskan pada pengukuran pemahaman konseptual siswa terhadap materi gelombang bunyi, seperti sifat-sifat gelombang, cepat rambat, intensitas bunyi, resonansi, dan efek Doppler. Soal disusun dengan total skor maksimum sebesar 20, kemudian dikonversikan ke dalam skala penilaian 0–100.

Aspek afektif dinilai melalui observasi berbasis rubrik yang mencakup indikator sikap ilmiah siswa, antara lain tanggung jawab, kerja sama, disiplin, serta keterlibatan aktif selama proses pembelajaran dan diskusi kelompok. Sementara itu, keterampilan atau psikomotor diukur melalui kegiatan praktikum berbantuan sensor smartphone. Aktivitas yang diamati meliputi tahap persiapan alat dan bahan, teknik pengambilan data, ketepatan dalam pengolahan informasi, serta kemampuan menyajikan hasil pengamatan secara logis dan sistematis.

Rangkuman data kuantitatif dari ketiga aspek pembelajaran tersebut disajikan pada Tabel 2 berikut, yang mencerminkan perbandingan hasil pretest dan posttest siswa pada setiap aspek yang diteliti.

Tabel 2. Rangkuman Skor Pretest dan Posttest pada Aspek Pengetahuan, Sikap, dan Keterampilan

Statistical Parameters	Pengetahuan (Pretest)	Pengetahuan (Posttest)	Sikap (Pretest)	Sikap (Posttest)	Keterampilan (Pretest)	Keterampilan (Posttest)
Number of Samples (N)	34	34	34	34	34	34
Lowest Value	15	35	0	50	50	65
Highest Value	50	90	50	100	75	85
Maximum Value	100	100	100	100	100	100
Average Value	34.71	65.00	38.23	77.20	64.26	77.20
Standard Deviation (S)	10.15	13.76	24.02	19.81	6.86	6.05

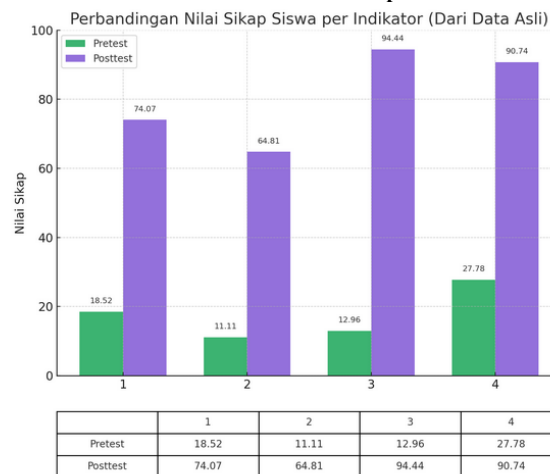
N-Gain	0.464	0.631	0.362
Effect Size	2.5	1.77	2.0

Berdasarkan Data pada Tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan yang konsisten pada seluruh aspek hasil belajar—yakni pengetahuan, sikap, dan keterampilan—setelah diterapkannya pembelajaran berbasis STEM yang didukung oleh aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite*.

Pada aspek kognitif, rata-rata nilai siswa meningkat dari 34,71 pada pretest menjadi 65,00 pada posttest. Nilai *gain* (N-Gain) yang diperoleh sebesar 0,464 tergolong dalam kategori sedang. Selain itu, uji *effect size* menghasilkan nilai sebesar 2,5 yang masuk dalam kategori efek sangat besar. Uji normalitas menggunakan metode Liliefors menunjukkan bahwa data berdistribusi normal, sehingga analisis dilanjutkan dengan uji *paired sample t-test*. Hasil uji menunjukkan nilai $t_{hitung} = 12,839$ yang jauh melebihi t_{tabel} pada $\alpha = 0,05$ yaitu 2,035, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pretest dan posttest. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan STEM memungkinkan siswa mengaitkan konsep teoritis gelombang bunyi dengan pengukuran data nyata melalui sensor pada perangkat smartphone, sehingga meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi. Hasil ini menunjukkan juga bahwa pembelajaran STEM berbantuan PTSS dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan penguasaan konsep peserta didik [10]. Selain itu, penggunaan PTSS juga mampu memperdalam pemahaman konseptual siswa dalam pembelajaran fisika [11].

Pada aspek afektif, terjadi peningkatan skor rata-rata siswa dari 38,23 menjadi 77,20 setelah perlakuan. Nilai N-Gain yang diperoleh adalah 0,631 yang juga berada dalam kategori sedang, dengan *effect size* sebesar 1,77 yang termasuk dalam kategori sangat besar. Namun, karena hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal ($L > L_a$), maka digunakan uji non-parametrik Wilcoxon Signed-Rank Test. Hasil uji menunjukkan nilai $z_{hitung} = 7,30$ yang lebih besar dari z_{tabel} pada $\alpha = 0,05$ yaitu 1,96, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara skor sikap sebelum dan sesudah perlakuan. Peningkatan ini juga terlihat secara visual pada Gambar 1, yang menunjukkan kenaikan skor pada beberapa indikator afektif. Indikator seperti kepercayaan diri, optimisme, dan kesiapan siswa untuk terlibat dalam diskusi mengalami peningkatan yang berarti setelah penerapan pembelajaran berbasis STEM.

Gambar 1. Rata-rata skor sikap siswa berdasarkan indikator



Selain itu, perkembangan sikap siswa selama proses pembelajaran ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan tren peningkatan skor sikap dari pertemuan ke

pertemuan. Grafik tersebut menunjukkan pola kenaikan yang konsisten sejak pertemuan pertama hingga pertemuan terakhir, mengindikasikan bahwa keterlibatan dan kepercayaan diri siswa semakin meningkat seiring berjalannya pembelajaran.

Gambar 2. Perkembangan skor sikap siswa pada setiap sesi pembelajaran



Hasil tersebut menunjukkan bahwa siswa menjadi lebih percaya diri, aktif terlibat dalam diskusi kelas, serta menunjukkan sikap ilmiah yang lebih kuat. Hal ini menunjukkan juga bahwa penggunaan PTSS mendorong keterlibatan siswa dalam aktivitas praktikum seperti merancang eksperimen, mengumpulkan data melalui sensor pada ponsel, dan menginterpretasikan hasil dalam bentuk grafik. Aktivitas-aktivitas tersebut secara tidak langsung menumbuhkan rasa ingin tahu, ketekunan, dan tanggung jawab [12].

Jika dibandingkan ketiga aspek pembelajaran, dapat diamati bahwa aspek sikap menunjukkan peningkatan *normalized gain* (N-Gain) tertinggi, yaitu sebesar 0,631. Hal ini dapat dikaitkan dengan karakteristik pembelajaran berbasis STEM yang menekankan aktivitas berpusat pada siswa, kolaborasi antar peserta didik, serta keterkaitan materi dengan konteks dunia nyata—faktor-faktor yang secara langsung meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa. Sebaliknya, aspek kognitif meskipun mengalami peningkatan yang signifikan (N-Gain = 0,464), tetap berada dalam kategori sedang. Ini mengindikasikan bahwa meskipun intervensi mampu mendukung pengembangan konsep, beberapa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep fisika yang bersifat abstrak, khususnya mengenai perilaku gelombang dan perambatan bunyi.

Adapun aspek psikomotor menunjukkan peningkatan yang stabil, kemungkinan disebabkan oleh keterlibatan langsung siswa dengan alat berbasis sensor. Interaksi langsung ini memungkinkan siswa menghubungkan tindakan praktis dengan hasil yang dapat diamati secara nyata. Temuan komparatif ini menegaskan pentingnya pendekatan pembelajaran yang menyeluruh terhadap ketiga aspek, bukan hanya berfokus pada aspek kognitif semata [13].

Dari ketiga aspek tersebut, dapat dilihat bahwa Peningkatan tertinggi ditunjukkan oleh aspek sikap yang dilihat dari nilai N-Gain yang dihasilkan sebesar 0,631, lebih tinggi dibandingkan aspek pengetahuan (0,464) maupun keterampilan (0,362). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis STEM yang didukung oleh penggunaan aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite* secara efektif membangun sikap positif siswa terhadap pembelajaran. Kegiatan eksperimen langsung, kerja kelompok, serta proses observasi dan pengumpulan data melalui sensor telah melatih siswa untuk bekerja sama, bertanggung jawab, dan disiplin dalam menjalankan tugas. Keterlibatan aktif dalam

kegiatan yang bermakna ini mendorong siswa untuk lebih antusias, fokus, dan menunjukkan sikap ilmiah selama proses pembelajaran.

Selain itu, pendekatan STEM secara alami menekankan kerja tim, pemecahan masalah, dan keterkaitan dengan dunia nyata, yang semuanya memberikan ruang bagi siswa untuk menumbuhkan nilai-nilai sosial dan sikap positif dalam belajar. Penanaman sikap tidak hanya terjadi sebagai efek samping dari proses belajar, tetapi menjadi bagian integral dari kegiatan, seperti saat siswa melakukan pengambilan data menggunakan sensor, berdiskusi mengenai hasil eksperimen, atau menyajikan temuan mereka kepada teman sekelas. Lingkungan belajar yang kolaboratif dan kontekstual ini berkontribusi pada perubahan sikap yang lebih bermakna dan berkelanjutan, dibandingkan metode pembelajaran konvensional yang lebih menekankan pada aspek kognitif semata.

Dari sisi penerapannya, integrasi aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite terbukti tidak hanya efektif tetapi juga dapat diakses dan digunakan dalam lingkungan kelas yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium. Pemanfaatan ponsel pintar sebagai alat eksperimen turut mendukung akses terhadap instrumen ilmiah, sehingga setiap siswa memiliki kesempatan yang sama dalam mengumpulkan dan menganalisis data secara bermakna [14]. Meskipun demikian, implementasi di masa depan akan lebih optimal apabila diberikan pendampingan atau scaffolding yang lebih terstruktur, terutama bagi siswa yang belum terbiasa menginterpretasikan data kuantitatif dari sensor. Guru juga perlu mendapatkan pelatihan dalam memfasilitasi diskusi inkuiri, agar siswa mampu mengaitkan hasil pengukuran dengan prinsip fisika yang mendasarinya [15].

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan STEM yang dipadukan dengan penggunaan aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite (PTSS) memberikan pengaruh signifikan dalam meningkatkan hasil belajar siswa, baik pada aspek kognitif, afektif, maupun psikomotor [16]. Hal ini menjadi sangat penting dalam konteks pembelajaran Fisika yang selama ini sering dianggap sulit oleh peserta didik karena sifat materinya yang abstrak dan minim pengalaman nyata di laboratorium [17]. Dengan adanya PTSS, pembelajaran menjadi lebih konkret, karena siswa dapat secara langsung mengamati data secara langsung seperti intensitas suara, frekuensi, dan pola gelombang menggunakan sensor bawaan smartphone.

Integrasi ini sangat bermanfaat terutama di sekolah-sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium. Sebagaimana dinyatakan oleh Wardani, M. R. (2023) pemanfaatan sensor mobile dalam lingkungan pembelajaran berbasis STEM dapat meningkatkan partisipasi siswa, memberikan pengalaman autentik, dan memperkuat pemahaman konseptual. Hal ini juga sejalan dengan penelitian oleh Suana et al. (2017) yang menyatakan bahwa pendekatan berbasis proyek dan teknologi mampu memperkuat literasi STEM dan keterampilan abad 21 peserta didik.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil pada penelitian ini memperkuat temuan Melia et al. (2023) yang menyatakan bahwa PTSS efektif dalam membantu siswa memahami konsep fisika melalui data yang dapat diamati dan diinterpretasikan. Hasil pengukuran effect size yang besar menunjukkan bahwa intervensi memberikan dampak yang substansial terhadap hasil belajar. Sementara itu, penelitian Wulandari (2023) juga menunjukkan bahwa siswa mengalami peningkatan signifikan dalam memahami konsep gelombang saat menggunakan pendekatan STEM berbasis sensor.

Namun, berbeda dengan studi-studi tersebut yang hanya menekankan aspek kognitif, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan tersebut juga berdampak kuat terhadap sikap dan keterampilan siswa. Ini menjadi poin penting karena pembelajaran yang efektif seharusnya tidak hanya mengukur capaian pengetahuan, tetapi juga membentuk karakter ilmiah dan mengembangkan keterampilan proses sains siswa.

Selain dampak langsung terhadap hasil belajar, pembelajaran berbasis teknologi juga berpotensi mengubah gaya belajar siswa. Mereka tidak lagi menjadi penerima informasi pasif, melainkan berperan sebagai pengamat, peneliti kecil, dan pemecah masalah. Ini sejalan dengan visi pendidikan abad 21 yang menekankan pembelajaran aktif, kontekstual, dan berbasis pengalaman. Aktivitas eksperimen menggunakan PTSS dapat mendorong siswa untuk lebih eksploratif, kolaboratif, serta terbiasa menggunakan data dalam menarik kesimpulan.

Dengan demikian, penerapan pendekatan STEM berbantuan PTSS tidak hanya memperbaiki capaian belajar dalam jangka pendek, tetapi juga membentuk pola pikir ilmiah dan sikap positif terhadap sains yang dapat bertahan lebih lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan utama:

- a. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penerapan pendekatan pembelajaran STEM yang didukung oleh aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite memberikan pengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan hasil belajar siswa pada materi Gelombang Bunyi.
- b. Ketiga aspek hasil belajar, yaitu kognitif, afektif, dan psikomotor, mengalami peningkatan secara signifikan dengan nilai uji masing-masing $t_h = 12,839$, $z_h = 7,30$, dan $t_h = 19,696$, yang seluruhnya melampaui batas signifikansi pada taraf $\alpha = 0,05$.
- c. Nilai N-Gain menunjukkan peningkatan pada kategori sedang, dengan skor 0,464 untuk aspek kognitif, 0,631 untuk aspek afektif, dan 0,362 untuk aspek psikomotor.
- d. Analisis effect size berdasarkan perhitungan Cohen's d menunjukkan pengaruh yang tinggi pada seluruh aspek pembelajaran, yaitu 2,5 untuk kognitif, 1,77 untuk afektif, dan 2,0 untuk psikomotor.
- e. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pembelajaran berbasis STEM dengan bantuan aplikasi Physics Toolbox Sensor Suite efektif dalam memperkuat pemahaman konsep, menumbuhkan sikap ilmiah, serta mengembangkan keterampilan praktikum peserta didik.
- f. Temuan penelitian juga menegaskan potensi integrasi teknologi sebagai alternatif solusi pembelajaran berbasis laboratorium di sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas, sekaligus mendukung pembelajaran abad ke-21 yang kontekstual dan berbasis pengalaman nyata.
- g. Untuk memperkuat validitas dan generalisasi hasil penelitian, disarankan dilakukan penelitian lanjutan dengan melibatkan kelompok kontrol, mengkaji topik fisika lainnya, serta mengevaluasi retensi jangka panjang terhadap pemahaman konsep dan keterampilan siswa melalui penerapan pembelajaran berbasis STEM.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R. E., & Dexter, S. L. (2020). School technology leadership and academic achievement. *Educational Administration Quarterly*, 41(1), 49–82.
- Hanifah, U., Niar, S., Universitas, A., & Dahlan, A. Y. (2021). *The role of educational technology in learning*. *Journal of Islamic and Educational Sciences*, 3(1).

- Astri, E. K., Siburian, J., & Hariyadi, B. (2022). *The effect of the project-based learning model on students' critical thinking and communication skills*. *Biodik: Scientific Journal of Biology Education*, 8(1), 51–59.
- Beers, S. Z. (2011). *21st century skills: Preparing students for their future*. Kappa Delta Pi Record, 47(1), 8–12.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Handayani, F., & Trisna, S. (2024). *The effect of the Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) approach on students' physics learning outcomes*. *GeoscienceEd*, 5(4).
- Kim, M. K., & Park, N. (2019). *Effectiveness of mobile science sensors in STEM-based learning environments*. *International Journal of Science Education*, 41(5), 723–740.
- Hanifah, U., Niar, S., Universitas, A., & Dahlan, A. Y. (2021). *The role of educational technology in learning*. *Journal of Islamic and Educational Sciences*, 3(1).
- Wardani, M. R. (2023). *STEM learning to develop students' science process skills on sound waves*. *Journal of Educational Science and Practice*, 14(2), 89–97.
- Herlina, D. (2024). *Enhancing students' scientific attitudes through STEM-based inquiry using mobile sensors*. *Journal of Educational Research and Innovation*, 8(3), 71–79.
- Kemendikbudristek. (2022). *Modul Pelatihan Guru: Pemanfaatan TIK dalam Pembelajaran Abad 21*. Jakarta: Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan.
- Maulidina, L., Suana, W., & Ertikanto, C. (2024). *Improving students' graph interpretation skills through the Physics Toolbox Sensor Suite application in simple harmonic motion learning*. *JIPFRI: Journal of Innovation in Physics Education and Scientific Research*, 8(2), 67–74.
- Melia, R., Sari, N. P., & Hakim, A. R. (2023). *The effect of STEM-PBL assisted by PTSS on students' conceptual understanding*. *Journal of Physics Education*, 11(2), 45–52.
- Muttaqin, A. I. (2021). *Assistance in offline learning processes for Madrasah Ibtidaiyah students through the scientific learning model in Karangsari Village, Banyuwangi during the COVID-19 era*. *Journal of Community Service*, 4(1).
- Nailul, M. R. (2020). *The effect of the STEM approach on students' cognitive abilities in fluid material* [Undergraduate thesis, Universitas Negeri Yogyakarta].
- Rahayu, P. (2021). *The effect of the STEM learning model on students' learning outcomes and motivation*. *Indonesian Journal of Science Education*, 6(1), 55–61.
- Sari, D. P., Rukayah, R., & Anitah, S. (2020). *Kendala Implementasi Pembelajaran Sains di Sekolah Menengah Atas*. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8(1), 15–21.
- Suana, W., Permanasari, A., Wahyudin, A., & Wati, H. (2017). *Enhancing Students' STEM Literacy Through Integrated Project-Based Learning*. *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), 012001.
- Wulandari, N. (2023). *Improving students' understanding of wave concepts using STEM and smartphone sensors*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 9(1), 23–30.
- Yulianti, D., & Subekti, L. T. (2021). *Analisis Hambatan Belajar Fisika Berdasarkan Pengalaman Belajar Siswa*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 17(2), 64–70.