

## INOVASI PEMBELAJARAN FISIKA BERBASIS EKSPERIMEN DAN PROYEK DENGAN PENERAPAN TEKNOLOGI SENSOR DAN MIKROKONTROLLER DI SMAN 1 PRAYA BARAT

**Lalu Sahrul Hudha\*, Rahadi Wirawan, Laili Mardiana,  
Kasnawi Al-Hadi, Bayu Septiawan**

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram  
Jalan Majapahit No 62, Mataram*

*Alamat korespondensi: [laluhudha@unram.ac.id](mailto:laluhudha@unram.ac.id)*

### ABSTRAK

Kurikulum Merdeka Belajar saat ini mengharuskan adanya inovasi pembelajaran yang mandiri, berbasis proyek, dan mampu memotivasi siswa secara menyeluruh. Namun, sebagian besar sekolah saat ini belum mampu memenuhi hal tersebut, sehingga model pembelajaran, khususnya mata pelajaran fisika, masih dilakukan secara kontekstual. Hal tersebut menyebabkan kurangnya motivasi dan pemahaman siswa terhadap konsep dan aplikasi fisika. Salah satu sekolah yang mengalami hal tersebut adalah SMAN 1 Praya Barat yang terletak di Desa Batujai, Kecamatan Praya Barat, yang merupakan salah satu desa mitra Universitas Mataram. Oleh karena itu, pada pengabdian kepada masyarakat ini diberikan solusi berupa inovasi pembelajaran berbasis eksperimen dan proyek yang dikembangkan menggunakan teknologi sensor, aktuator, dan mikrokontroler yang disesuaikan dengan materi pembelajaran di tingkat Sekolah Menengah Atas. Modul eksperimen atau proyek fisika yang dihasilkan berupa modular sensor yang dapat diaplikasikan untuk eksperimen gerak jatuh bebas, tekanan hidrostatik, intensitas cahaya, medan magnet, kecepatan bunyi di udara, bandul matematis, resonansi pipa organa, asas Black berbasis sensor temperatur digital, pengukuran tegangan dan arus digital, serta eksperimen berkaitan dengan momentum linier dan impuls. Hasil dari kegiatan ini menunjukkan bahwa guru dan siswa mampu mengoperasikan modul eksperimen berbasis sensor secara mandiri setelah mendapatkan pelatihan. Siswa juga menunjukkan peningkatan motivasi belajar, keterampilan praktis, dan pemahaman konsep fisika melalui kegiatan eksperimen dan proyek yang lebih interaktif. Guru mendapatkan referensi baru untuk mengembangkan metode pembelajaran berbasis teknologi yang aplikatif dan sesuai dengan tuntutan Kurikulum Merdeka. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini berhasil meningkatkan kualitas pembelajaran fisika di SMAN 1 Praya Barat serta membuka peluang kolaborasi berkelanjutan dalam pengembangan media pembelajaran inovatif di sekolah mitra..

**Kata kunci:** Inovasi, Pembelajaran, Fisika, eksperimen, proyek, sensor, mikrokontroler

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang Masalah

Pembelajaran fisika di sekolah menengah atas memiliki peran penting dalam membentuk kemampuan berpikir kritis, keterampilan pemecahan masalah, serta penguasaan teknologi yang menjadi bekal siswa di era revolusi industri 4.0. Namun, pada kenyataannya, bidang sains, termasuk fisika, kerap menghadapi tantangan dalam menarik minat siswa. Salah satu indikatornya adalah semakin menurunnya jumlah siswa yang memilih program studi berbasis ilmu pengetahuan dasar, khususnya fisika, di perguruan tinggi (Panatarani, 2023). Hal ini disebabkan oleh pendekatan pembelajaran fisika yang cenderung monoton, hanya berfokus pada aspek kognitif, tanpa melibatkan aspek afektif dan psikomotorik siswa. Hal ini juga terlihat di SMAN 1 Praya Barat di mana proses pembelajaran fisika masih dominan bersifat teoritis, minim eksperimen, serta belum sepenuhnya mendukung penerapan Kurikulum Merdeka Belajar.

Beberapa masalah prioritas yang teridentifikasi di sekolah tersebut antara lain: (1) rendahnya minat siswa terhadap pembelajaran fisika akibat pendekatan yang monoton dan kurang kontekstual; (2)

keterbatasan infrastruktur pendukung, khususnya perangkat eksperimen berbasis teknologi; (3) kurangnya kompetensi guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis proyek dengan integrasi teknologi modern; dan (4) pembelajaran yang belum sesuai dengan tuntutan Kurikulum Merdeka, terutama dalam aspek kreativitas, kolaborasi, serta integrasi ranah kognitif, afektif, dan psikomotorik.

Isu rendahnya minat dan motivasi siswa dalam belajar fisika bukanlah hal baru. Penelitian menunjukkan bahwa banyak siswa menganggap fisika sebagai mata pelajaran yang abstrak dan sulit dipahami karena kurangnya pengalaman belajar yang melibatkan aktivitas praktis (Supriyadi, 2018). Padahal, kegiatan eksperimen memiliki peran signifikan dalam meningkatkan pemahaman konsep sekaligus keterampilan proses sains (Nurhadi et al., 2020). Sejalan dengan itu, Kurikulum Merdeka menekankan pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) yang mampu mengembangkan kompetensi abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi (Kemendikbudristek, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan efektivitas penggunaan teknologi sensor dan mikrokontroler dalam pembelajaran fisika. Misalnya, penggunaan Arduino dan sensor digital terbukti dapat meningkatkan motivasi belajar sekaligus memfasilitasi eksperimen fisika dengan biaya relatif murah dan fleksibel (Gingl dkk., 2019; Petry dkk., 2016). Pengabdian masyarakat yang dilakukan oleh Restianingsih (Restianingsih dkk., 2023) juga melaporkan bahwa pelatihan guru dalam pemanfaatan teknologi mikrokontroler mampu meningkatkan keterampilan guru dalam merancang media pembelajaran inovatif. Selain itu, pengembangan modul eksperimen berbasis sensor dan mikrokontroler terbukti membantu siswa memahami konsep abstrak seperti Gerak jatuh bebas (Moya, 2018), tekanan udara (Jaewijarn & Wuttirom, 2021), polarisasi Cahaya (Freitas dkk., 2018), getaran (Dauphin & Bouquet, 2018; Pili & Violanda, 2019), tegangan permukaan (Goncalves dkk., 2019), impuls (Espindola dkk., 2018), hukum toricelli (Atkin, 2018), kapasitas panas (Dos Reis dkk., 2021), hukum Faraday (Bezerra dkk., 2019) secara lebih aplikatif.

Berdasarkan permasalahan dan kajian tersebut, kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk menghadirkan solusi inovatif berupa pembelajaran fisika berbasis eksperimen dan proyek dengan penerapan teknologi sensor, aktuator, dan mikrokontroler yang disesuaikan dengan materi di tingkat SMA. Secara khusus, tujuan kegiatan ini adalah: menyediakan perangkat eksperimen berbasis teknologi yang dapat mendukung pembelajaran fisika; mengembangkan modul pembelajaran berbasis eksperimen dan proyek yang relevan dengan Kurikulum Merdeka; memberikan pelatihan dan pendampingan bagi guru agar mampu merancang dan melaksanakan pembelajaran berbasis proyek; serta meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses belajar melalui aktivitas eksperimen yang interaktif dan aplikatif.

Manfaat yang diharapkan dari kegiatan ini adalah peningkatan kualitas pembelajaran fisika di SMAN 1 Praya Barat, baik dari sisi motivasi, keterampilan praktis, maupun pemahaman konsep siswa. Bagi guru, kegiatan ini memberikan referensi dan pengalaman baru dalam memanfaatkan teknologi modern untuk pembelajaran yang lebih menarik dan kontekstual. Secara lebih luas, pengabdian ini juga diharapkan menjadi model implementasi pembelajaran fisika berbasis teknologi yang dapat direplikasi di sekolah lain, sekaligus mendukung pencapaian Kurikulum Merdeka yang menekankan pembelajaran mandiri, kolaboratif, dan berbasis proyek.

### **Tujuan Kegiatan**

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika di tingkat sekolah menengah atas, khususnya di SMAN 1 Praya Barat, melalui penerapan pembelajaran berbasis eksperimen dan proyek dengan integrasi teknologi sensor, aktuator, dan mikrokontroler yang selaras dengan tuntutan Kurikulum Merdeka. Kegiatan ini diarahkan untuk mengatasi rendahnya minat dan motivasi siswa terhadap fisika dengan menghadirkan pengalaman belajar yang lebih kontekstual, interaktif, dan aplikatif, sekaligus mengembangkan kompetensi abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Selain itu, pengabdian ini bertujuan untuk menyediakan perangkat dan modul eksperimen berbasis teknologi yang relevan dengan materi fisika SMA serta meningkatkan kompetensi guru melalui pelatihan dan pendampingan dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran berbasis proyek yang terintegrasi dengan teknologi modern.

### **Manfaat Kegiatan**

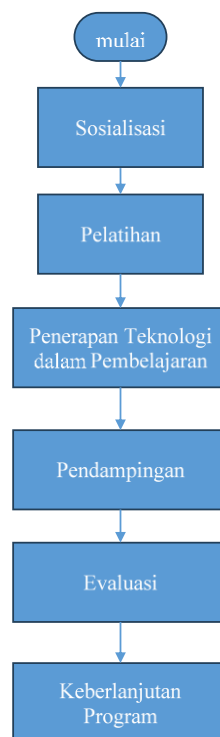
Manfaat dari kegiatan pengabdian ini adalah meningkatnya motivasi belajar, keterampilan praktis, dan pemahaman konsep fisika siswa melalui keterlibatan langsung dalam kegiatan eksperimen dan proyek berbasis teknologi. Bagi guru, kegiatan ini memberikan wawasan, keterampilan, dan pengalaman baru dalam mengembangkan media serta strategi pembelajaran fisika yang inovatif, efektif, dan sesuai dengan Kurikulum Merdeka. Secara lebih luas, pengabdian ini diharapkan dapat menjadi model penerapan pembelajaran fisika berbasis teknologi di sekolah menengah atas yang dapat direplikasi di sekolah lain, sekaligus berkontribusi dalam menumbuhkan minat siswa terhadap bidang sains dan mendukung penguatan sumber daya manusia yang adaptif terhadap perkembangan teknologi di era revolusi industri 4.0.

### METODE KEGIATAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di SMAN 1 Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah, dengan melibatkan guru fisika dan siswa sebagai mitra sasaran utama. Metode pelaksanaan pengabdian dirancang agar mampu menjawab permasalahan prioritas terkait rendahnya minat belajar siswa, keterbatasan sarana eksperimen, kurangnya kompetensi guru dalam inovasi pembelajaran, serta tuntutan implementasi Kurikulum Merdeka.

#### Tahap Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan pelaksanaan kegiatan pengabdian ini ditunjukkan pada gambar 1.



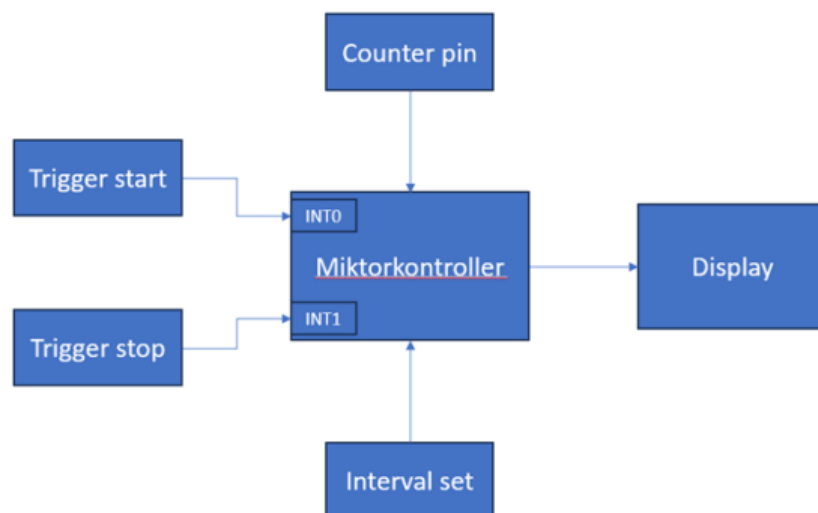
**Gambar 1.** Tahap Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat

Tahap awal dilakukan melalui pertemuan dengan pihak sekolah (kepala sekolah dan guru fisika) untuk menyampaikan tujuan, manfaat, serta rencana kegiatan. Pada tahap ini juga dilakukan diskusi dan kesepakatan teknis mengenai bentuk implementasi program sehingga sesuai dengan kebutuhan sekolah dan kondisi mitra. Tahap selanjutnya adalah pelatihan intensif terkait penggunaan perangkat teknologi berbasis sensor, aktuator, dan mikrokontroler. Materi pelatihan mencakup: Pengenalan dasar teori mikrokontroler dan sensor, praktik pengoperasian perangkat, penyusunan eksperimen berbasis proyek yang sesuai dengan materi fisika SMA. Pelatihan ini dilaksanakan secara partisipatif agar guru memperoleh pengalaman langsung yang dapat ditransfer kepada siswa.

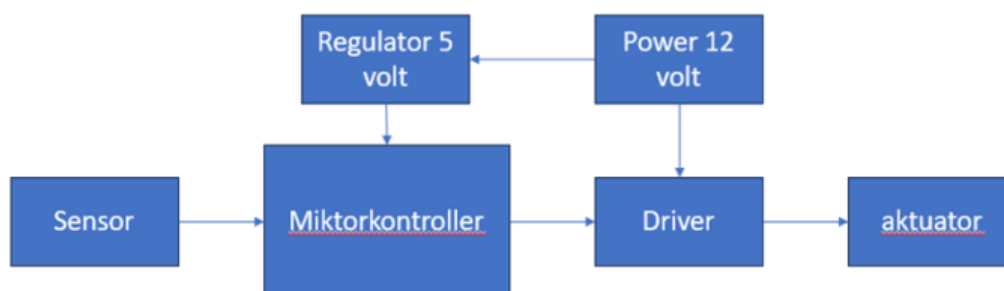
Selanjutnya, perangkat eksperimen yang dikembangkan digunakan langsung dalam kegiatan belajar mengajar di kelas. Guru dan siswa difasilitasi untuk melaksanakan eksperimen berbasis teknologi, misalnya pengukuran gerak jatuh bebas, tekanan fluida, intensitas cahaya, kecepatan bunyi, resonansi pipa organa, dan eksperimen lainnya yang relevan dengan kurikulum. Setelah itu, dilakukan pendampingan secara berkala untuk memastikan guru dan siswa mampu mengoperasikan perangkat secara mandiri. Pendampingan ini juga mencakup monitoring terhadap proses pembelajaran, sekaligus memberikan solusi terhadap kendala teknis maupun pedagogis yang dihadapi di lapangan. Selanjutnya tahap evaluasi yang dilakukan melalui survei, wawancara, serta observasi kelas untuk menilai keberhasilan program. Aspek yang dinilai mencakup: Peningkatan kompetensi guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis teknologi, Motivasi dan partisipasi siswa dalam kegiatan eksperimen, Kesesuaian modul dan perangkat dengan kebutuhan pembelajaran fisika di SMA. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan program ke depan. Sebagai tindak lanjut, sekolah didorong untuk mengintegrasikan perangkat dan metode pembelajaran ini ke dalam program reguler sekolah. Selain itu, diusulkan kolaborasi berkelanjutan antara Universitas Mataram dan SMAN 1 Praya Barat dalam pengembangan media pembelajaran inovatif lainnya.

### Gambaran Teknologi yang dikembangkan

Perangkat yang digunakan dalam pengabdian ini dinamakan Sistem Eksperimen Fisika Terintegrasi (SEFT). SEFT merupakan platform eksperimen modular berbasis mikrokontroler (ESP32) yang memungkinkan pengukuran berbagai besaran fisika secara real-time. Sistem ini bersifat modular yang terdiri dari mikrokontroler, ADC dan beberapa sensor yang dapat dipasang secara modular. Blok diagram dari SEFT ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Modul Timer



Gambar 3. Modul sensor dan Aktuator

Sistem ini dilengkapi dengan Mikrokontroller ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kontrol, membaca, dan mengolah data sensor serta mengontrol aktuator. System juga dilengkapi dengan timer counter untuk pengukuran waktu yang presisi guna mendukung eksperimen fisika yang membutuhkan pengukuran waktu antara dua event. Sedangkan sensor yang digunakan diantaranya adalah:

1. Sensor temperature berbasis DS18B20 yang berfungsi mengukur suhu dalam berbagai eksperimen fisika yang terkait dengan pengukuran suhu.
2. Sensor tekanan udara HX710B yang berfungsi mengukur tekanan fluida dalam berbagai eksperimen berkaitan dengan pengukuran tekanan fluida seperti tekanan hidrostatik
3. Sensor medan magnet berbasis hall effect yang berfungsi mengukur kuat medan magnet pada eksperimen yang membutuhkan pengukuran medan magnet
4. Sensor accelerometer untuk mengukur percepatan dari sebuah objek seperti pada eksperimen untuk mengukur percepatan bandul atau beban di ujung pegas.
5. Sensor gaya berbasis Loadcell untuk mengukur besarnya gaya seperti pada eksperimen tumbukan untuk menghitung impuls
6. Sensor ultrasound yang dapat digunakan dalam eksperimen menentukan kecepatan bunyi di udara.
7. Sensor intensitas Cahaya yang bisa digunakan dalam eksperimen hukum malus ataupun eksperimen yang lain yang berhubungan dengan pengukuran intensitas Cahaya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi perangkat dan alur kegiatan

System Eksperimen Fisika Terintegrasi (SEFT) yang sudah dikembangkan terdiri atas modul sensor modular, modul timer digital, AV meter, sound generator, serta beragam sensor (medan magnet, akselerometer, loadcell, tekanan fluida, ultrasound, intensitas cahaya, dan suhu digital) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Paket ini memungkinkan pengukuran besaran fisika secara real-time dan dapat dirangkai sesuai kebutuhan topik di kelas. Kehadiran paket perangkat ini sejalan dengan desain sistem pada bagian metode yang menekankan kemudahan plug-and-play bagi guru dan siswa.



**Gambar 4.** Sistem Eksperimen Fisika Terintegrasi berbasis sensor dan mikrokontroller

#### Keterangan:

1. Modular Sensor
2. Modul timer digital
3. Modul AV meter
4. Sound Generator



5. Sensor Kuat medan magnet
6. Sensor Accelerometer
7. Sensor Gaya berbasis Loadcell
8. Sensor tekanan fluida
9. Sensor ultrasound
10. Sensor intensitas Cahaya
11. Sensor suhu digital

Kegiatan dimulai dengan penyampaian pengantar konsep dan motivasi belajar (Gambar 2), dilanjutkan pengenalan modul eksperimen (Gambar 3). Setelah orientasi, tim melakukan demonstrasi terarah diikuti praktik mandiri oleh siswa dengan pendampingan guru (Gambar 4–7). Di akhir sesi, peserta mengisi kuesioner untuk menangkap umpan balik terhadap kemanfaatan kegiatan (Gambar 8), dan perangkat diserahkan kepada pihak sekolah sebagai upaya keberlanjutan (Gambar 9).



**Gambar 5.** Penyampaian materi pendahuluan tentang konsep fisika dan motivasi belajar fisika



**Gambar 6.** Pengenalan modul eksperimen yang digunakan pada pengabdian ini



**Gambar 7.** demonstrasi penggunaan sensor ultrasound untuk eksperimen mengukur kecepatan bunyi di udara



**Gambar 8.** demonstrasi penggunaan generator bunyi digital untuk eksperimen pipa organa



**Gambar 9.** demonstrasi penggunaan sensor intensitas Cahaya untuk eksperimen hubungan antara jarak terhadap intensitas cahaya terukur





**Gambar 10.** Demonstrasi Gerak jatuh bebas menggunakan modul timer yang dikembangkan



**Gambar 11.** Pengisian Kuisisioner Kegiatan pengabdian kepada Masyarakat di SMAN 1 Praya Barat





**Gambar 12.** Penyerahan Modul Sistem Eksperimen Fisika Terintegrasi berbasis sensor dan mikrokontroller ke pihak SMAN 1 Praya Barat

### Temuan Pembelajaran berbasis eksperimen

#### Kecepatan bunyi di udara

Demonstrasi menggunakan sensor ultrasound (Gambar 4) memperlihatkan keunggulan pengukuran waktu dan jarak berbasis mikrokontroler. Siswa dapat memverifikasi orde nilai kecepatan bunyi di udara serta menganalisis faktor lingkungan (suhu/kelembapan). Aktivitas ini memantik diskusi ilmiah tentang ketidakpastian pengukuran dan kalibrasi jarak.

#### Resonansi pipa organa

Dengan sound generator (Gambar 5), siswa mengamati terbentuknya simpul–perut gelombang pada kolom udara. Data frekuensi dan panjang kolom digunakan untuk menurunkan kecepatan bunyi sebagai pembanding hasil sensor ultrasound. Pendekatan ganda ini memperkuat pemahaman hubungan  $v = f\lambda$  sekaligus melatih triangulasi data.

#### Intensitas cahaya vs. jarak

Eksperimen menggunakan sensor intensitas Cahaya (Gambar 6) menunjukkan tren penurunan intensitas saat jarak sumber–sensor diperbesar. Meski kondisi ruangan tidak ideal (pencahayaan sekitar), pola data tetap konsisten dengan ekspektasi teoretik (pembahasan hukum kuadrat terbalik/invers-kuadrat) setelah dilakukan background correction.

#### Gerak jatuh bebas

Modul timer (Gambar 7) dimanfaatkan untuk mengukur interval waktu dua kejadian secara presisi, sehingga grafik  $s$  terhadap  $t^2$  menunjukkan linearitas yang baik. Dari kemiringan grafik, siswa mendiskusikan estimasi percepatan gravitasi serta sumber deviasi (hambatan udara, reaksi pelepas).

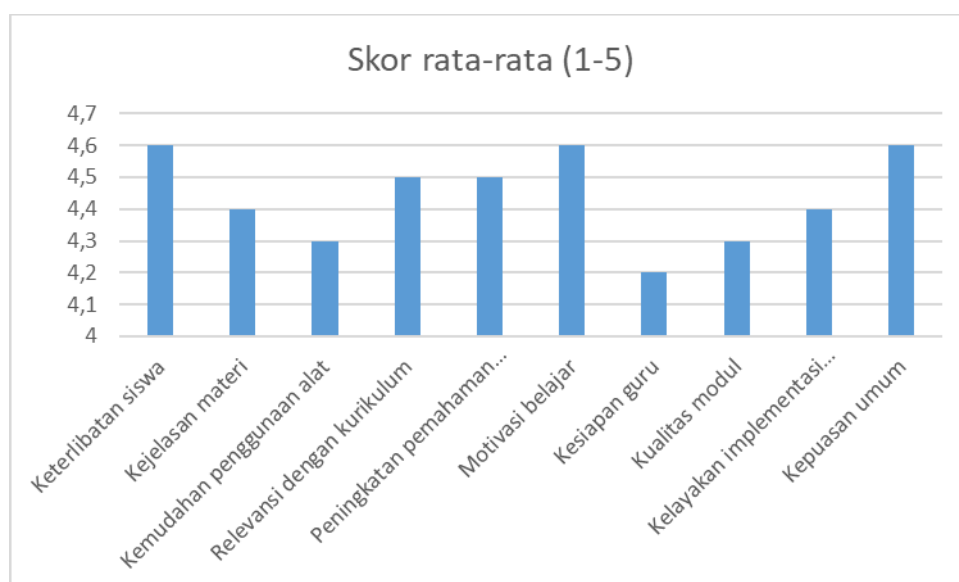
#### Dampak pada siswa dan guru

Observasi kelas memperlihatkan keterlibatan siswa meningkat saat mereka berperan langsung sebagai operator alat, data logger, dan analis data. Guru menyatakan modul dan antarmuka perangkat mudah diadopsi untuk sesi praktikum singkat (40–60 menit) dan tugas proyek lintas pertemuan. Keunggulan utama yang dicatat: (i) data real-time yang memudahkan diskusi berbasis bukti, (ii) modularitas sensor yang fleksibel untuk banyak topik, dan (iii) biaya operasional yang relatif rendah dibanding kit komersial. Tantangan yang muncul adalah kebutuhan troubleshooting awal (konektivitas,

kalibrasi), yang teratasi melalui lembar prosedur dan sesi pendampingan singkat. Temuan-temuan ini konsisten dengan tujuan program untuk menyelaraskan pembelajaran dengan Kurikulum Merdeka (projek, kolaborasi, dan inquiry).

**Tabel 1.** Rekapitulasi hasil kuesioner (skala Likert 1–5; N=35).

Indikator	Definisi singkat	Skor rata-rata (1-5)
Keterlibatan siswa	Aktivitas dan partisipasi selama praktik	4.6
Kejelasan materi	Pemahaman terhadap konsep yang disampaikan	4.4
Kemudahan penggunaan alat	Kemudahan mengoperasikan SEFT & sensor	4.3
Relevansi dengan kurikulum	Kesesuaian dengan capaian pembelajaran	4.5
Peningkatan pemahaman konsep	Persepsi peningkatan pemahaman setelah praktik	4.5
Motivasi belajar	Ketertarikan untuk belajar fisika setelah kegiatan	4.6
Kesiapan guru	Kepercayaan diri guru menggunakan model & alat	4.2
Kualitas modul	Kejelasan langkah & instruksi eksperimen	4.3
Kelayakan implementasi rutin	Kelayakan diterapkan pada pertemuan reguler	4.4
Kepuasan umum	Penilaian keseluruhan terhadap kegiatan	4.6



**Gambar 11.** Rata-rata Skor Kuesioner

Indikator keterlibatan siswa, motivasi belajar, dan kepuasan umum memperoleh skor rata-rata tertinggi ( $\approx 4,6$ ), mengindikasikan kegiatan dan perangkat mampu memantik minat serta pengalaman belajar positif. Relevansi dengan kurikulum dan peningkatan pemahaman konsep juga tinggi ( $\approx 4,5$ ), menunjukkan kesesuaian topik dan aktivitas eksperimen dengan capaian pembelajaran. Kemudahan penggunaan alat dan kualitas modul berada pada rentang 4,3–4,4; temuan ini mendorong perbaikan kecil pada lembar kerja (penambahan panduan kalibrasi, checklist pra-eksperimen). Kesiapan guru (4,2) cukup tinggi namun masih menjadi ruang penguatan melalui refresher singkat dan bank soal proyek.

Hasil praktik dan umpan balik kuesioner memperlihatkan bahwa SEFT efektif sebagai sarana pembelajaran berbasis eksperimen & proyek yang ringkas namun kaya data. Untuk keberlanjutan, sekolah dapat: (i) menjadwalkan micro-lab 30–40 menit pada topik gelombang, listrik, dan mekanika; (ii) memanfaatkan modul untuk proyek mini lintas 2–3 pertemuan; (iii) mengembangkan rubrik

penilaian kinerja dan laporan data berbasis grafik. Penyerahan perangkat (hlm. 12) memastikan ketersediaan alat untuk pelaksanaan rutin dan pengembangan topik eksperimen baru.

### KESIMPULAN

Program PKM penerapan perangkat eksperimen fisika modular (SEFT) berjalan efektif dan berhasil menghidupkan praktik kunci kecepatan bunyi, resonansi kolom udara, hubungan intensitas cahaya–jarak, dan gerak jatuh bebas sehingga keterlibatan, motivasi, dan pemahaman konsep siswa meningkat. Umpan balik kuesioner menunjukkan penilaian tinggi pada relevansi, kepuasan umum, dan kemudahan adopsi, sementara tantangan utama berupa kalibrasi awal dan troubleshooting sederhana dapat diatasi dengan panduan dan pendampingan singkat. Serah terima perangkat ke sekolah memperkuat keberlanjutan implementasi.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada LPPM Universitas Mataram dan FMIPA Universitas Mataram atas dukungan pendanaan serta fasilitasi yang memungkinkan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini terlaksana dengan baik. Apresiasi yang sama kami sampaikan kepada SMAN 1 Praya Barat selaku mitra pelaksana—terutama kepada kepala sekolah, para guru, dan siswa—atas kolaborasi, dukungan logistik, serta partisipasi aktif selama seluruh rangkaian kegiatan. Tanpa dukungan dan kemitraan tersebut, program ini tidak akan mencapai keluaran dan dampak sebagaimana dilaporkan dalam naskah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Atkin, K. (2018). Investigating the Torricelli law using a pressure sensor with the Arduino and MakerPlot. *Physics Education*, 53(6), 065001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aad680>
- Bezerra, A. Z. L. N., Cabreira, F. M., Freitas, W. P. S., Cena, C. R., Alves, D. C. B., Reis, D. D., & Goncalves, A. M. B. (2019). Using an Arduino to demonstrate Faraday's law. *Physics Education*, 54(4), 043011. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab1ce1>
- Dauphin, C., & Bouquet, F. (2018). Physical pendulum experiment re-investigated with an accelerometer sensor. *Papers in Physics*, 10, 100008. <https://doi.org/10.4279/pip.100008>
- Dos Reis, W. P. N., Rodrigues, D. P., Rocha, I. L., Dutra, R. S., & Souza, P. V. S. (2021). An Arduino-based experiment designed to estimate the heat capacity of a nichrome resistor. *Physics Education*, 56(1), 013005. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abc79a>
- Espindola, P. R., Cena, C. R., Alves, D. C. B., Bozano, D. F., & Goncalves, A. M. B. (2018). Impulse measurement using an Arduino. *Physics Education*, 53(3), 035005. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aaa920>
- Freitas, W. P. S., Cena, C. R., Alves, D. C. B., & Goncalves, A. M. B. (2018). Arduino-based experiment demonstrating Malus's law. *Physics Education*, 53(3), 035034. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aab43d>
- Gingl, Z., Mellár, J., Szépe, T., Makan, G., Mingesz, R., Vadai, G., & Kopasz, K. (2019). Universal Arduino-based experimenting system to support teaching of natural sciences. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012052>
- Goncalves, A.-M. B., Freitas, W. P. S., Reis, D. D., Cena, C. R., Alves, D. C. B., & Bozano, D. F. (2019). Surface Tension Measured with Arduino. *The Physics Teacher*, 57(9), 640–641. <https://doi.org/10.1119/1.5135800>
- Jaewijarn, C., & Wuttirom, S. (2021). A new manometer with Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 1719(1), 012092. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1719/1/012092>
- Moya, A. A. (2018). An Arduino experiment to study free fall at schools. *Physics Education*, 53(5), 055020. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aad4c6>
- Panatarani, C. (2023, Agustus). Perhatian Fisika Unpad, Himpunan Fisika Indonesia dan MIPANet terhadap Kualitas Program Studi Fisika. Fisika, FMIPA, UNPAD. <https://phys.unpad.ac.id/2023/08/22/perhatian-fisika-unpad-himpunan-fisika-indonesia-dan-mipanet-terhadap-kualitas-program-studi-fisika/>

- Petry, C. A., Pacheco, F. S., Lohmann, D., Correa, G. A., & Moura, P. (2016). Project teaching beyond Physics: Integrating Arduino to the laboratory. 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/TAEE.2016.7528376>
- Pili, U., & Violanda, R. (2019). Measurement of the gravitational acceleration using a simple pendulum apparatus, ultrasonic sensor, and Arduino. *Physics Education*, 54(4), 043009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab2011>
- Restianingsih, T., Nurhidayah, N., Pebralia, J., & Anggraini, R. M. (2023). Pelatihan Pembuatan Kit Praktikum Fisika Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno di SMK Negeri 9 Muaro Jambi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Pinang Masak*, 4(2), 31–38. <https://doi.org/10.22437/jpm.v4i2.28797>