

Implementasi Program Asistensi Mengajar Berbasis Mikrokontroler dalam Pembelajaran Fisika untuk Meningkatkan Kecakapan Digital Siswa Kelas XII

Friskha Mauranessa Violin¹, Indah Anggun Rahmawati¹, Khoirunnisa^{1,*}, Nabel Auli Ilma Nafi'an¹, Nabila Asyfa Riza¹

¹ Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Pendidikan Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
Email: ¹Friskhavo@student.uns.ac.id, ²indahanggun@student.uns.ac.id, ³*khoirunnisa3345@student.uns.ac.id, ⁴nabelauli@student.uns.ac.id, ⁵rizanabila195@student.uns.ac.id
(*: corresponding author)

Abstrak—Program asistensi mengajar di SMAN 1 Karanganyam dilaksanakan untuk mengatasi rendahnya integrasi teknologi digital dalam pembelajaran fisika khususnya pada materi instrumen digital dan mikrokontroler. Program ini bertujuan meningkatkan kecakapan digital siswa kelas XII melalui pembelajaran berbasis konsep dan praktik dengan menggunakan model *Jigsaw* dan *Project Based Learning* (PjBL) yang berorientasi pada aktivitas dan kolaborasi siswa. Kegiatan dilaksanakan selama empat minggu dengan melibatkan siswa kelas XII H, XII I, XII J, dan XII K sebagai subjek utama, dengan mitra pengabdian guru fisika dan pihak sekolah SMAN 1 Karanganyam. Tahapan kegiatan meliputi pembelajaran konsep instrumen digital, pengenalan mikrokontroler berbasis Arduino, serta pengembangan proyek otomatisasi sederhana. Pengumpulan data dilakukan melalui *pretest-posttest*, angket kecakapan digital, dan observasi pembelajaran. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman konsep dan keterampilan teknis siswa. Nilai rata-rata *posttest* meningkat dibandingkan *pretest* dengan nilai *normalized gain* (N-gain) berada pada kategori rendah hingga sedang, yaitu sebesar 0,05-0,47. Selain itu, hasil angket akhir menunjukkan peningkatan kecakapan digital siswa, dengan persentase kategori “baik dan “sangat baik” mencapai lebih dari 70% pada aspek pemahaman gerbang logika, sistem input-output digital, dan pemrograman mikrokontroler. Pembelajaran berbasis proyek juga mendorong peningkatan keaktifan, kolaborasi, serta sikap positif siswa terhadap pemanfaatan teknologi digital. Dengan demikian, program asistensi mengajar ini efektif dalam meningkatkan kecakapan digital siswa dan dapat menjadi alternatif pembelajaran fisika yang kontekstual, aplikatif, dan relevan dengan tuntutan abad ke-21.

Kata Kunci: Asistensi Mengajar; Kecakapan Digital; Instrumen Digital; Mikrokontroler; *Project Based Learning*

Abstract—The teaching assistance program at SMAN 1 Karanganyam was implemented to address the low integration of digital technology in physics learning, particularly in digital instruments and microcontroller topics. This program aimed to enhance the digital competence of Grade XII students through concept and practice-based learning using the *Jigsaw* and *Project-Based Learning* (PjBL) models, emphasizing student-centered and collaborative activities. The program was conducted over four weeks and involved students from classes XII H, XII I, XII J, and XII K as the primary participants, in collaboration with physics teachers and the school management at SMAN 1 Karanganyam. The activity stages included instruction on digital instrument concepts, an introduction to Arduino-based microcontrollers, and the development of simple automation projects. Data were collected through *pretest-posttest*, digital competence questionnaires, and classroom observations. The results showed improvements in students' conceptual understanding and technical skills. The average *posttest* scores increased compared to the *pretest* results, with *normalized gain* (N-gain) values ranging from 0.05 to 0.47, indicating low to moderate improvement levels. Furthermore, the final questionnaire results revealed an increase in students' digital competence, with more than 70% of students categorized as “good” and “very good” in aspects of logic gate understanding, digital input-output system, and microcontroller programming. *Project-based learning* also promoted higher levels of student engagement, collaboration, and positive attitudes toward digital technology. Therefore, this teaching assistance program was effective in improving students' digital competence and can serve as a contextual, practical, and relevant alternative approach to physics learning aligned with 21st-century demands.

Keywords: Teaching Assistance; Digital Competence; Digital Instruments; Microcontroller; *Project-Based Learning*

1. PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 menuntut integrasi teknologi digital dalam dunia pendidikan serta menempatkan literasi digital sebagai kompetensi esensial bagi siswa di semua jenjang. Literasi digital tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menggunakan perangkat teknologi, tetapi juga mencakup kecakapan memahami, mengevaluasi, dan memanfaatkan informasi secara kritis dan bertanggung jawab. Setiawardani et al. (2021) menegaskan bahwa peningkatan literasi digital perlu berjalan seiring dengan penguatan kemampuan berpikir kritis agar siswa mampu memanfaatkan teknologi secara tepat. Namun demikian, meskipun akses terhadap teknologi semakin luas, pemanfaatan informasi secara kritis masih menjadi hambatan dalam proses pembelajaran (Devi & Winangun, 2024). Banyak siswa belum mampu menyaring informasi secara efektif sehingga berpotensi menerima informasi yang tidak valid atau menyesatkan (Rosalina et al., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa penguatan kecakapan digital merupakan urgensi yang tidak dapat diabaikan dalam menghadapi derasnya arus informasi di era digital (Furbani et al., 2025).

Perkembangan teknologi informasi yang pesat tersebut belum sepenuhnya diimbangi dengan kesiapan sekolah menengah dalam menyediakan pembelajaran yang berkaitan dengan instrumen digital dan mikrokontroler. Hingga saat ini, hanya sebagian kecil sekolah tingkat SMP maupun SMA yang memasukkan materi pemrograman

dan mikrokontroler ke dalam kurikulum maupun kegiatan ekstrakurikuler. Kondisi ini dipengaruhi oleh belum adanya kebijakan khusus terkait integrasi materi pemrograman di sekolah serta keterbatasan kompetensi guru dalam bidang teknologi. Akibatnya, pemahaman siswa terhadap instrumen digital, mikrokontroler, dan logika pemrograman masih relatif rendah, padahal kecakapan tersebut merupakan fondasi penting dalam penguatan literasi digital dan kesiapan menghadapi era Industri 4.0.

Fenomena tersebut terlihat dalam berbagai kegiatan pelatihan berbasis mikrokontroler di sekolah menengah, seperti workshop Arduino, di mana sebagian besar siswa baru pertama kali mengenal perangkat mikrokontroler (Rosman et al., 2023). Dalam konteks pembelajaran fisika, pemanfaatan platform Arduino menuntut kemampuan pemrograman serta pemahaman dasar elektronika yang memadai (Zadorozhnii, 2024). Namun, sebagian besar siswa belum memiliki keterampilan tersebut sehingga pembelajaran harus dimulai dari konsep paling dasar, seperti prinsip kerja mikrokontroler, perancangan rangkaian elektronik, serta koneksi sensor dan aktuator (Gunawan et al., 2025).

Selain rendahnya penguasaan instrumen digital, pembelajaran fisika di sekolah menengah masih didominasi oleh penyampaian konsep secara abstrak tanpa dukungan teknologi digital sebagai media pembelajaran. Padahal, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran aktif dan kolaboratif mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa. Penerapan model pembelajaran kooperatif tipe Jigsaw terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa melalui penguatan interaksi, tanggung jawab belajar, dan diskusi antarsiswa (Arta, 2021; Hastuti, 2022). Model ini berperan penting dalam membantu siswa memahami konsep-konsep fisika secara lebih mendalam melalui kerja sama kelompok (Suparwati, 2024).

Dalam pelaksanaannya, model pembelajaran kooperatif tipe Jigsaw digunakan untuk memperkuat pemahaman konseptual dan teori dasar, termasuk konsep fisika yang berkaitan dengan mikrokontroler, prinsip kerja sensor, serta dasar-dasar elektronika. Selanjutnya, pembelajaran berbasis proyek (*Project Based Learning*) diterapkan sebagai pendekatan praktik melalui pemanfaatan Arduino dalam eksperimen fisika. Melalui PjBL berbantuan Arduino, siswa memperoleh pengalaman langsung dalam merancang, merakit, dan menguji alat berbasis mikrokontroler, sehingga pembelajaran tidak hanya bersifat konseptual tetapi juga aplikatif.

Namun demikian, keterbatasan alat peraga digital dan fasilitas laboratorium menyebabkan teknologi seperti Arduino belum dimanfaatkan secara optimal dalam pembelajaran fisika di sekolah (Matsun et al., 2021). Kondisi serupa juga terjadi di SMAN 1 Karanganom, di mana materi mengenai instrumen digital dan mikrokontroler belum pernah diajarkan secara eksplisit baik dalam pembelajaran fisika maupun mata pelajaran lainnya. Fasilitas laboratorium fisika masih berfokus pada percobaan konvensional, sehingga siswa belum memiliki kesempatan untuk menggunakan sensor, mikrokontroler, maupun perangkat berbasis teknologi digital lainnya.

Keterbatasan pengalaman tersebut berdampak pada rendahnya kecakapan digital siswa kelas XII SMAN 1 Karanganom, khususnya dalam aspek teknis seperti perakitan rangkaian elektronik dan pemrograman dasar. Padahal, siswa kelas XII berada pada fase persiapan menuju perguruan tinggi, sehingga penguatan kompetensi digital menjadi semakin relevan sebagai bekal menghadapi jenjang pendidikan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, peningkatan kecakapan digital siswa menjadi prioritas utama dalam program pengabdian ini karena bersifat mendesak dan sesuai dengan kebutuhan nyata mitra.

Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, Program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), khususnya kegiatan Asistensi Mengajar yang berkembang menjadi Hibah Pembelajaran Berdampak, memiliki peran strategis dalam mendukung integrasi teknologi digital di sekolah (Lubis et al., 2025). Melalui kegiatan asistensi mengajar, mahasiswa berperan sebagai fasilitator yang membantu guru menghadirkan pembelajaran berbasis teknologi digital melalui pengembangan media interaktif, pendampingan literasi digital, serta pemanfaatan mikrokontroler dan sensor dalam eksperimen fisika.

Pengenalan mikrokontroler melalui penggunaan Arduino dalam pembelajaran fisika berbasis proyek menjadi salah satu bentuk kegiatan yang relevan untuk meningkatkan kecakapan digital siswa. Aktivitas pemrograman, perancangan alat, pengumpulan data sensor, serta analisis hasil eksperimen memberikan pengalaman belajar langsung yang mampu memperkuat pemahaman konsep fisika sekaligus mengembangkan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif (Coban & Buyukdede, 2024). Proses kerja kelompok dalam merakit alat dan mendiskusikan hasil eksperimen juga mendorong kemampuan komunikasi dan kolaborasi, sementara tantangan yang muncul selama proses eksplorasi alat menstimulasi kemampuan pemecahan masalah dan berpikir kreatif (Matsun et al., 2026).

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat adanya kesenjangan antara tuntutan literasi digital dalam pendidikan dan praktik pembelajaran fisika di sekolah yang masih minim integrasi teknologi serta kurang memberikan pengalaman praktis kepada siswa. Oleh karena itu, kegiatan asistensi mengajar yang berfokus pada pengembangan proyek sederhana berbasis mikrokontroler Arduino menjadi upaya inovatif untuk menjembatani kesenjangan tersebut. Kebaruan kegiatan ini terletak pada integrasi model pembelajaran kooperatif tipe Jigsaw untuk penguatan konsep dan PjBL berbantuan Arduino untuk praktik langsung dalam pembelajaran fisika di

SMAN 1 Karanganom. Kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan kecakapan digital siswa kelas XII sekaligus memperkuat kesiapan mereka dalam menghadapi tuntutan kompetensi abad ke-21.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Waktu dan Tempat

Kegiatan Asistensi Mengajar dalam program Hibah Pembelajaran Berdampak dilaksanakan di SMA Negeri 1 Karanganom, Kabupaten Klaten, sepanjang semester ganjil tahun ajaran 2025/2026, yaitu dari Agustus hingga Desember 2025 (± 20 minggu). Dari keseluruhan durasi tersebut, kegiatan inti yang berfokus pada pengenalan instrumen digital dan mikrokontroler untuk siswa kelas XII berlangsung selama empat minggu pada bulan Oktober.

2.2 Sasaran Kegiatan

Sasaran utama kegiatan ini adalah siswa kelas XII SMA Negeri 1 Karanganom, khususnya kelas XII H, XII I, XII J, dan XII K yang sedang mempelajari topik pengantar instrumen digital. Guru Fisika berperan sebagai mitra dalam pendampingan proses pembelajaran, sedangkan pelaksana kegiatan adalah mahasiswa S1 Pendidikan Fisika, FKIP UNS peserta program Hibah Pembelajaran Berdampak periode Agustus–Desember 2025.

2.3 Tahapan Kegiatan

1. Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi koordinasi dengan dosen pembimbing dan pihak sekolah, penyusunan rancangan program, serta pengembangan perangkat pembelajaran berupa RPP, media presentasi berbasis *Canva* dan *Adobe Animate*, modul sistem otomatisasi, dan buku pengenalan mikrokontroler. Selain itu, disusun pula instrumen asesmen yang mencakup *pretest*, *posttest*, infografis, kinerja, proyek, sikap, dan angket kecakapan digital. Semua perangkat diuji coba terlebih dahulu untuk memastikan kesiapan pelaksanaan di kelas.

2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan kegiatan berfokus pada asistensi mengajar melalui rangkaian pembelajaran instrumen digital dan mikrokontroler di kelas XII. Kegiatan diawali dengan *pretest* dan angket diagnostik untuk memetakan kemampuan awal siswa. Pembelajaran inti kemudian dilaksanakan menggunakan model *Jigsaw* untuk memahami konsep instrumen digital serta PjBL untuk eksperimen mikrokontroler dan pembuatan proyek sederhana. Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, siswa mengerjakan *posttest* dan angket akhir sebagai asesmen sumatif. Tim asistensi berperan sebagai fasilitator, sedangkan guru fisika dan dosen pembimbing memberikan supervisi selama pelaksanaan kegiatan.

3. Tahap Evaluasi dan Pelaporan

Tahap evaluasi dilakukan melalui analisis hasil *pretest* - *posttest* serta respons angket awal dan akhir menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk melihat perubahan pengetahuan dan kecakapan digital siswa. Perbandingan skor *pretest* dan *posttest* digunakan untuk menilai peningkatan pemahaman konsep digital dan mikrokontroler, sedangkan angket membantu mengidentifikasi perubahan kemampuan teknis, sikap terhadap teknologi, dan kepercayaan diri siswa dalam menggunakan perangkat digital. Kegiatan ini juga dilengkapi dokumentasi proses pembelajaran dan hasil kerja siswa sebagai data pendukung. Seluruh temuan kemudian disusun dalam laporan kegiatan dan dapat dikembangkan menjadi artikel ilmiah sebagai bentuk publikasi hasil program.

2.4 Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data dalam kegiatan ini mencakup tiga jenis utama. Pertama, tes kognitif berupa *pretest* dan *posttest* digunakan untuk mengukur pemahaman awal dan akhir siswa mengenai konsep instrumen digital dan mikrokontroler secara objektif. Kedua, angket kecakapan digital berskala *Likert* diberikan pada awal dan akhir pembelajaran untuk menilai persepsi siswa terkait kemampuan teknis, sikap terhadap teknologi, serta kepercayaan diri dalam praktik mikrokontroler. Ketiga, observasi dan dokumentasi dilakukan sepanjang proses kegiatan untuk merekam dinamika pembelajaran, aktivitas siswa dalam proyek, serta kualitas interaksi dan keterlibatan mereka.

Kombinasi ketiga instrumen tersebut menghasilkan data yang komprehensif untuk mendukung analisis dan penyusunan laporan kegiatan. Dalam proses analisisnya digunakan data mean sebagai indikator ketercapaian dalam membandingkan nilai *pretest* dan *posttest* serta angket ketercapaian. Mean, atau average, adalah jumlah total nilai dalam suatu sampel dibagi dengan jumlah nilai dalam sampel tersebut (Sari et al., 2025). Untuk memperkuat analisis data yang ditemukan maka juga digunakan perhitungan untuk mencari nilai *N-Gain* (*Normalized Gain*) yang digunakan untuk melihat efektivitas program secara lebih komprehensif (Wahab et al.,

2021). Adapun rumus dan tabel nilai rentang N-Gain yang digunakan sebagai dasar analisis data penelitian adalah sebagai berikut yang tercantum pada Tabel 1.

$$N - Gain = \frac{Skor\ Posttest - Skor\ Pretest}{Skor\ Ideal - Skor\ Pretest} \quad (1)$$

Tabel 1. Rentang N-Gain

Rata rata	Kriteria
$g > 0,7$	Tinggi
$0,3 \leq g \leq 0,7$	Sedang
$0 \leq g \leq 0,3$	Rendah
$g \leq 0$	Gagal

Disajikan pula persentase pilihan jawaban dalam angket diagnostik dan angket ketercapaian program yang membantu dalam memberikan *supporting data* dalam hasil dan pembahasan program.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan sebagai upaya untuk menyelesaikan permasalahan mitra, yaitu rendahnya integrasi teknologi digital dalam pembelajaran fisika serta terbatasnya pengalaman siswa dalam menggunakan instrumen digital dan mikrokontroler di SMAN 1 Karanganom. Permasalahan tersebut ditangani melalui penerapan metode pembelajaran kolaboratif berbasis Jigsaw dan PjBl yang mengintegrasikan penguatan konsep dan praktik langsung, sehingga pembelajaran tidak hanya bersifat teoritis tetapi juga aplikatif dan kontekstual.

3.1 Penjelasan Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat berupa pengenalan instrumen digital dan mikrokontroler dirancang secara sistematis dan berorientasi pada peningkatan kecakapan digital siswa. Kegiatan diawali dengan pembelajaran konsep dasar instrumen digital menggunakan model pembelajaran *Jigsaw* sebagai upaya menggeser pembelajaran dari pendekatan *teacher centered* menjadi *student centered*. Melalui model ini, siswa didorong untuk berperan aktif dalam membangun pengetahuan melalui diskusi, eksplorasi mandiri, dan proses saling mengajar antarkelompok (Syahriani et al., 2025). Pada tahap awal, siswa dibagi ke dalam kelompok ahli untuk mempelajari materi prasyarat yang meliputi sistem elektronika dasar, perbedaan sistem analog dan digital, serta konsep gerbang logika. Pemahaman konsep tersebut diperkuat melalui kegiatan eksplorasi dan simulasi rangkaian digital menggunakan platform *Tinkercad* dan *Academo* yang memberikan visualisasi konkret terhadap konsep abstrak. Hasil eksplorasi siswa kemudian dituangkan dalam bentuk infografis sebagai representasi pemahaman awal, yang pada tahap ini juga disertai dengan pelaksanaan *pretest* dan pengisian angket diagnostik untuk memetakan kemampuan awal serta persepsi siswa terhadap kecakapan digital.

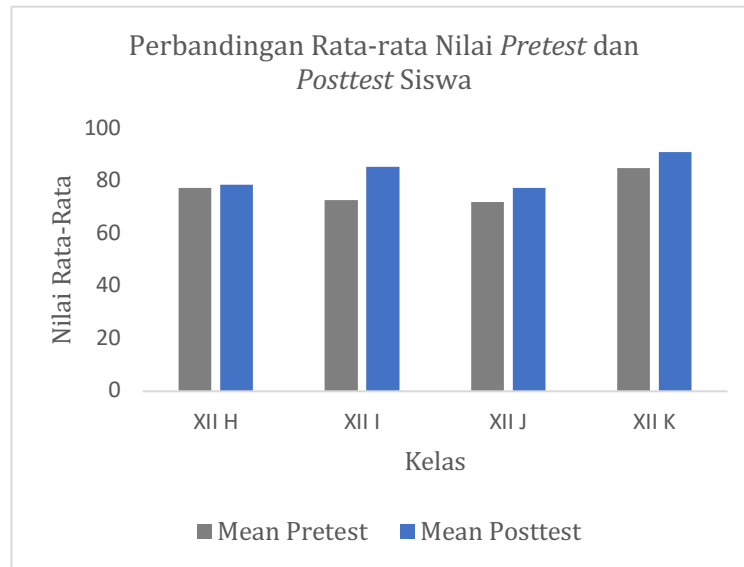
Tahapan pembelajaran selanjutnya difokuskan pada pengenalan mikrokontroler melalui pendekatan praktik langsung. Siswa melakukan eksplorasi mandiri terhadap struktur dan fungsi mikrokontroler, kemudian memperoleh penguatan konsep melalui penyajian materi dan pendampingan oleh tim asistensi, khususnya dalam penggunaan Arduino IDE. Pada tahap ini, siswa dilatih menyusun program sederhana sebagai latihan awal guna mengembangkan kemampuan berpikir komputasional, logika pemrograman, serta keterampilan pemecahan masalah dalam konteks digital (Andrian & Hikmawan, 2021). Setelah siswa memahami konsep dasar instrumen digital dan mikrokontroler, pembelajaran dilanjutkan dengan penerapan model PjBL untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna, aplikatif, dan kontekstual (Salsabila & Setiyawan, 2024). Siswa merancang proyek otomatisasi sederhana berdasarkan tema yang disepakati bersama, menyusun desain rangkaian dan kode program, serta mengerjakan proyek secara bertahap menggunakan modul dan buku referensi yang telah disediakan. Hasil proyek kemudian dipresentasikan melalui kegiatan *Gallery Walk*, di mana setiap kelompok menjelaskan alat dan bahan, rangkaian, kode program, serta sistem kerja proyek yang telah dibuat. Kegiatan ini melatih kemampuan komunikasi ilmiah, kolaborasi, dan tanggung jawab kelompok.

Selama pelaksanaan kegiatan, partisipasi mitra menunjukkan keterlibatan yang aktif dan kolaboratif. Guru fisika SMAN 1 Karanganom berperan dalam perencanaan pembelajaran, penyesuaian materi dengan kurikulum sekolah, serta pendampingan siswa selama kegiatan diskusi, praktik, dan proyek. Pihak sekolah turut mendukung pelaksanaan program melalui penyediaan sarana dan prasarana pembelajaran serta pengaturan jadwal kegiatan. Dalam proses pembelajaran, guru berperan sebagai *co-fasilitator* yang memberikan penguatan konsep dan membantu pengelolaan kelas, sementara mahasiswa asistensi bertindak sebagai pendamping teknis dalam praktik mikrokontroler. Kolaborasi tersebut memungkinkan terjadinya transfer pengetahuan dan keterampilan antara perguruan tinggi dan sekolah mitra. Untuk memastikan ketercapaian tujuan kegiatan, proses dan hasil pembelajaran dievaluasi melalui asesmen yang dirancang secara autentik dan berkelanjutan, meliputi asesmen infografis untuk menilai pemahaman konsep awal, asesmen kinerja untuk mengukur keterampilan praktik

mikrokontroler, asesmen proyek untuk menilai kualitas produk akhir, serta asesmen sikap melalui penilaian teman sejawat. Setelah seluruh rangkaian pembelajaran selesai, siswa mengerjakan *posttest* dan mengisi angket akhir sebagai asesmen sumatif guna mengidentifikasi peningkatan pengetahuan konseptual dan perkembangan kecakapan digital setelah mengikuti pembelajaran berbasis eksperimen dan proyek.

3.2 Tingkat Pemahaman dan Keberhasilan Kegiatan

Tingkat pemahaman dan keberhasilan kegiatan pengabdian diukur melalui beberapa indikator, yaitu hasil *pretest* dan *posttest*, angket kecakapan digital, asesmen kinerja, asesmen proyek, dan observasi aktivitas siswa. *Pretest* dan *posttest* digunakan untuk mengukur peningkatan pemahaman konseptual siswa terhadap instrumen digital dan mikrokontroler, sedangkan angket digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan kecakapan digital siswa dari aspek konseptual hingga aplikatif.



Gambar 1. Perbandingan Rata-Rata Nilai *Pretest* dan *Posttest* Siswa

Tingkat pemahaman siswa terhadap materi instrumen digital dan mikrokontroler ditunjukkan melalui perbandingan nilai rata-rata *pretest* dan *posttest* pada setiap kelas sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Perbandingan tersebut memberikan gambaran awal mengenai variasi peningkatan pemahaman konseptual siswa, yang selanjutnya dianalisis secara kuantitatif menggunakan nilai N-Gain.

Tabel 2. Rata-Rata *Pretest*, *Posttest*, dan N-Gain Siswa

Kelas	n	Total Nilai <i>Pretest</i>	Mean <i>Pretest</i>	Total Nilai <i>Posttest</i>	Mean <i>Posttest</i>	N-Gain
XII H	36	2790	77,5	2830	78,6	0,05 (rendah)
XII I	34	2480	72,9	2910	85,6	0,47 (sedang)
XII J	34	2450	72,06	2630	77,4	0,19 (rendah)
XII K	36	3060	85	3280	91,1	0,41 (sedang)

Berdasarkan perhitungan menggunakan *normalized gain* (N-Gain), peningkatan hasil belajar siswa menunjukkan variasi tingkat efektivitas antar kelas sebagaimana disajikan pada Tabel 2 (Nurhidayah et al., 2025). Kelas XII I dan XII K memperoleh nilai N-Gain masing-masing sebesar 0,47 dan 0,41 yang termasuk dalam kategori sedang, sedangkan kelas XII H dan XII J berada pada kategori rendah dengan nilai N-Gain berturut-turut sebesar 0,05 dan 0,19. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *Jigsaw* dan PjBL memberikan dampak yang lebih optimal pada kelas dengan kemampuan awal menengah hingga rendah. Penggunaan N-Gain memungkinkan analisis peningkatan hasil belajar yang lebih adil karena mempertimbangkan perbedaan kemampuan awal siswa, sehingga efektivitas program dapat dibandingkan secara lebih proporsional antar kelas.

Tabel 3. Hasil Angket Diagnostik Siswa

Indikator	Pernyataan Angket	Presentase "Ya/Tahu" (%)
Pemahaman gerbang logika	"Apakah kamu pernah mendengar atau belajar tentang logika dasar dalam gerbang logika?"	11.3%

Indikator	Pernyataan Angket	Presentase “Ya/Tahu” (%)
Perbedaan analog dengan digital	“Apakah kamu tahu apa yang dimaksud dengan sistem analog dan digital?”	30.1%
Pengetahuan bilangan biner	“Apakah kamu sudah pernah mendengar tentang bilangan biner (0 dan 1)?”	25.6%

Selain hasil tes, angket diagnostik awal menunjukkan bahwa kecakapan digital dasar siswa masih tergolong rendah, khususnya pada pemahaman konsep gerbang logika, perbedaan sistem analog dan digital, serta pengetahuan tentang bilangan biner sebagai dasar logika pemrograman, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Rendahnya persentase respon “ya/tahu” pada angket awal menunjukkan bahwa sebagian besar siswa belum memiliki landasan konseptual yang memadai untuk memahami mikrokontroler. Temuan ini selaras dengan hasil pretest yang menunjukkan ketidakmerataan pemahaman konsep di antara siswa.

Tabel 4. Hasil Angket Ketercapaian Digital

Indikator	Pernyataan Angket	Persentase “Baik dan Sangat Baik” (%)
Pemahaman gerbang logika	“Apakah kamu sudah memahami pengertian dasar tentang gerbang logika (seperti AND, OR, NOT, dan lainnya)?”	92.2%
	“Apakah kamu dapat menjelaskan cara kerja masing-masing gerbang logika dengan baik dan benar, serta menjelaskan tabel kebenarannya?”	73.8%
	“Apakah kamu mampu menganalisis rangkaian digital sederhana yang menggunakan gerbang logika?”	77.9%
Pemahaman Input dan Output Digital	“Apakah kamu sudah memahami bagaimana input dan output digital bekerja pada mikrokontroler?”	96.1%
	“Apakah kamu sudah memahami bagaimana input dan output digital bekerja pada mikrokontroler, dan bagaimana suatu rangkaian otomatisasi berjalan?”	89.6%
Pemahaman Rangkaian & Coding Mikrokontroler	“Apakah kamu dapat menjelaskan fungsi dasar mikrokontroler dan penerapannya dengan sensor sederhana?”	90.9%
	“Apakah kamu dapat membaca dan memahami diagram rangkaian sederhana yang melibatkan mikrokontroler dan sensor digital?”	88.3%
	“Apakah kamu mengetahui dan memahami penerapan program coding logika digital dalam program mikrokontroler (misalnya pada Arduino atau ESP32) pada bahasa program?”	75.3%

Setelah mengikuti seluruh rangkaian kegiatan pembelajaran berbasis *Jigsaw* dan *PjBL*, hasil angket akhir menunjukkan peningkatan yang signifikan pada seluruh indikator kecakapan digital, sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Sebagian besar siswa berada pada kategori “baik” dan “sangat baik” dalam pemahaman gerbang logika, input-output digital, serta kemampuan membaca rangkaian dan menyusun kode program sederhana. Peningkatan ini menunjukkan pergeseran kemampuan siswa dari sekadar penguasaan konsep dasar menuju keterampilan teknis yang lebih aplikatif. Pengalaman belajar melalui simulasi dan proyek nyata terbukti membantu siswa mengaitkan konsep abstrak dengan penerapan teknologi digital secara konkret. Secara keseluruhan, hasil tes dan angket menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini berhasil meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus kecakapan digital siswa secara bertahap dan konsisten. Data kuantitatif tersebut diperkuat oleh hasil observasi selama kegiatan berlangsung.

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan, luaran yang dihasilkan mencakup luaran fisik dan non-fisik. Luaran fisik berupa proyek otomatisasi sederhana berbasis mikrokontroler yang dirancang dan direalisasikan oleh siswa, serta perangkat pendukung pembelajaran berupa modul sistem otomatisasi, buku pengenalan mikrokontroler, dan media pembelajaran digital. Sementara itu, luaran non-fisik ditunjukkan oleh peningkatan kecakapan digital siswa yang tercermin dari nilai *N-Gain* dan hasil angket akhir, serta meningkatnya kesiapan guru dan siswa dalam mengintegrasikan teknologi digital ke dalam pembelajaran fisika.

3.3 Dampak Kegiatan, Observasi, dan Kendala Pelaksanaan

Hasil observasi menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian memberikan dampak positif terhadap sikap dan perilaku belajar siswa. Minat dan antusiasme siswa terhadap pembelajaran mikrokontroler terlihat dari keaktifan mereka dalam bertanya, berdiskusi, serta mengikuti kegiatan praktik dan proyek. Meskipun pada tahap awal beberapa siswa masih mengalami kebingungan akibat materi yang relatif baru, penguatan konsep melalui diskusi dan contoh kontekstual membantu meningkatkan pemahaman dan kepercayaan diri siswa. Dalam kerja kelompok, siswa menunjukkan kemampuan kolaborasi yang baik melalui pertukaran ide, pembagian tugas, dan argumentasi yang konstruktif.

Pembelajaran yang bersifat aplikatif dan kolaboratif ini turut mendorong perkembangan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kerja sama. Dampak jangka pendek yang terlihat adalah meningkatnya pemahaman dan keterampilan digital siswa, sedangkan dampak jangka panjang yang diharapkan adalah terbentuknya kesiapan siswa dalam menghadapi pembelajaran berbasis teknologi dan tuntutan dunia digital. Meskipun demikian, beberapa kendala masih ditemui selama pelaksanaan kegiatan, antara lain perbedaan kemampuan awal antarsiswa, keterbatasan waktu praktik, serta kendala teknis pada perangkat yang sempat memperlambat proses pembelajaran. Kendala tersebut menjadi bahan evaluasi untuk pengembangan kegiatan serupa di masa mendatang, baik dari sisi perencanaan waktu, penyediaan perangkat, maupun strategi pendampingan yang lebih adaptif.

3.4 Pembahasan

Hasil kegiatan pengabdian menunjukkan bahwa pembelajaran instrumen digital dan mikrokontroler yang dirancang melalui kombinasi model *Jigsaw* dan *PjBL* efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus kecakapan digital siswa. Peningkatan nilai *pretest* dan *posttest* pada seluruh kelas, yang diperkuat oleh hasil angket kecakapan digital, mengindikasikan bahwa siswa tidak hanya mengalami peningkatan pengetahuan secara kognitif, tetapi juga mampu mengembangkan keterampilan teknis yang relevan dengan pembelajaran berbasis teknologi. Temuan ini menegaskan bahwa keterlibatan aktif siswa dalam aktivitas eksploratif dan aplikatif merupakan faktor kunci dalam penguatan literasi dan kecakapan digital (Atmojo et al., 2022). Penerapan model *Jigsaw* pada tahap awal kegiatan berperan penting dalam membantu siswa membangun pemahaman konsep dasar, khususnya pada materi yang bersifat abstrak seperti gerbang logika, sistem digital, dan bilangan biner. Melalui diskusi dan proses saling mengajar antarsiswa, kebingungan awal yang muncul dapat diminimalkan, sehingga siswa lebih siap mengikuti tahap pembelajaran selanjutnya. Hal ini terlihat dari meningkatnya partisipasi siswa dalam diskusi serta hasil asesmen infografis yang menunjukkan pemahaman konsep yang lebih terstruktur sebelum memasuki tahap praktek mikrokontroler.

Selanjutnya, penerapan *PjBL* memberikan pengalaman belajar yang bermakna melalui perancangan dan pembuatan proyek otomisasi sederhana. Kegiatan proyek memungkinkan siswa untuk mengintegrasikan pemahaman konseptual dengan keterampilan teknis, seperti penggunaan Arduino IDE, pembacaan rangkaian, serta penyusunan dan pengujian kode program. Hasil asesmen kinerja dan proyek menunjukkan bahwa sebagian besar siswa mampu mengoperasikan mikrokontroler dan menyelesaikan tugas proyek sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Selain itu, aktivitas presentasi melalui *Gallery Walk* turut melatih kemampuan komunikasi ilmiah dan kerja sama kelompok, yang merupakan bagian dari keterampilan abad ke-21, meliputi berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi (Thornhill-Miller et al., 2023). Hasil observasi selama kegiatan memperlihatkan adanya perubahan perilaku belajar siswa, ditandai dengan meningkatnya keaktifan, rasa ingin tahu, dan kemampuan bekerja sama. Meskipun pada awalnya terdapat kendala berupa perbedaan kemampuan awal antarsiswa serta keterbatasan waktu dan perangkat, pendekatan pembelajaran kolaboratif dan pendampingan yang dilakukan mampu membantu siswa beradaptasi dengan materi dan aktivitas yang diberikan. Temuan ini menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian tidak hanya berdampak pada peningkatan hasil belajar, tetapi juga pada sikap dan motivasi siswa terhadap pembelajaran berbasis teknologi.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini berhasil menjembatani kesenjangan antara pembelajaran fisika konvensional dan kebutuhan integrasi teknologi digital di sekolah. Dampak yang diidentifikasi menunjukkan bahwa peningkatan kecakapan digital siswa merupakan hasil dari keterpaduan antara penguatan konsep, praktik langsung, dan pembelajaran kolaboratif yang diterapkan melalui kombinasi model *Jigsaw* dan *PjBL*. Dampak jangka pendek yang terlihat mencakup peningkatan pemahaman konseptual, keterampilan teknis, serta kesiapan siswa dalam mengikuti pembelajaran berbasis teknologi, sementara dampak jangka panjang yang berpotensi berkembang adalah terbentuknya kesiapan siswa menghadapi tuntutan pembelajaran abad ke-21 serta peluang penerapan pembelajaran berbasis proyek secara berkelanjutan di sekolah. Dalam konteks pengabdian kepada masyarakat, temuan ini menunjukkan bahwa program asistensi mengajar yang berfokus pada instrumen digital dan mikrokontroler tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi siswa, tetapi juga membuka peluang pengembangan kapasitas sekolah mitra melalui penguatan peran guru sebagai fasilitator pembelajaran berbasis teknologi, sehingga program ini dapat menjadi alternatif strategis dalam mendukung penguatan literasi digital dan pengembangan pembelajaran fisika yang lebih kontekstual dan inovatif.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengenalan mikrokontroler melalui Program Asistensi Mengajar memberikan dampak nyata bagi siswa kelas XII dalam peningkatan kecakapan digital. Kegiatan ini berjalan secara sistematis dan efektif. Pembelajaran yang dirancang memberikan siswa pengalaman belajar yang relevan dengan kemajuan teknologi saat ini, mulai dari praktik perakitan rangkaian dan penyusunan program berbasis PjBL hingga penguatan konsep instrumen digital melalui model pembelajaran *Jigsaw*. Hasil *pretest-posttest* menunjukkan pendekatan pembelajaran yang diterapkan efektif dalam memperkuat pemahaman konseptual siswa terkait instrumen digital dan mikrokontroler. Hal ini ditandai dengan peningkatan rata-rata nilai *posttest* di seluruh kelas sebesar 0,05-0,47 yang menandakan kegiatan pembelajaran memberikan dampak signifikan terutama bagi kelas dengan kemampuan awal lebih rendah. Hasil angket diagnostik dan kecakapan digital serta observasi selama kegiatan menunjukkan peningkatan kemampuan siswa dalam pemahaman konsep digital dan keterampilan teknis menggunakan mikrokontroler sebesar lebih dari 70% dengan kategori “baik” dan “sangat baik”. Siswa menunjukkan pemahaman yang lebih baik tentang materi, kemampuan praktik yang lebih baik, dan sikap yang lebih positif terhadap pembelajaran berbasis teknologi. Selain itu, aktivitas ini membantu mengembangkan keterampilan abad ke-21 seperti komunikasi, kreativitas, kolaborasi, dan pemecahan masalah. Secara keseluruhan, kegiatan ini tidak hanya meningkatkan pembelajaran fisika tetapi juga memperkuat kerja sama antara kampus dan sekolah dalam mengembangkan pembelajaran digital. Kegiatan ini dapat diterapkan di sekolah lain apabila memiliki tujuan untuk meningkatkan kecakapan digital dan kemampuan siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, R., & Hikmawan, R. (2021). The Importance of Computational Thinking to Train Structured Thinking in Problem Solving. *Jurnal Online Informatika*, 6(1), 113–117. <https://doi.org/10.15575/join.v6i1.677>
- Arta, I. M. (2021). Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe *Jigsaw* Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Ips Siswa Kelas V Sd Negeri 4 Tenganan Semester II Tahun Pelajaran 2018/2019 I. *ACTION: Jurnal Inovasi Penelitian Tindakan Kelas Dan Sekolah*, 1(1), 9–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.51878/action.v1i1.283>
- Atmojo, I. R. W., Ardiansyah, R., Nafisah, A., Matsuri, M., Saputri, D. Y., & Chumdari, C. (2022). The Effectiveness of Digital Literacy Indicators in Improving Students' Reading Interest. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 14(3), 3007–3018. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i3.2123>
- Coban, A., & Buyukdede, M. (2024). Exploring Motion: Integrating Arduino in Physics Education for 21st Century Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1742-6596/1464/1/012016>
- Devi, L. P. S. A., & Winangun, I. M. A. (2024). Peran Literasi Digital Dalam Meningkatkan Kompetensi Teknologi Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 11(4), 1255–1267. <https://doi.org/https://doi.org/10.38048/jipcb.v11i4.4681>
- Furbani, W., Purnawanti, F., Dewi, A. E. R., Sari, N., & Thoriq, T. (2025). Digital Literacy and Critical Thinking Skills of Students in the Era Industry 4.0. *JUWARA: Jurnal Wawasan Dan Aksara*, 5(1), 136–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.58740/juwara.v5i1.382>
- Gunawan, B., Hamdani, D., Setiawan, I., & Lora, H. A. (2025). Arduino Training for High School Students: Improving Technology Literacy and Creativity in the Digital Age. *Aktual: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(3), 141–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.58723/aktual.v3i3.476>
- Hastuti, W. (2022). Peningkatan Aktivitas Dan Hasil Belajar Biologi Materi Enzim dan Metabolisme Sel Menggunakan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe *Jigsaw* Siswa Kelas XII Mia SMAN 1 Tebing Tinggi Tahun Pelajaran 2021/2022. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 2(1), 696–702. <https://doi.org/10.31004/innovative.v2i1.4579>
- Lubis, E. F. R., Jazuli, M. A., Sinaga, I. N., & Siregar, U. H. (2025). Efektivitas Program MBKM dalam Meningkatkan Literasi Digital dan Kompetensi Teknologi Siswa di SMK Al-Wasliyah Stabat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 4(2), 109–124. <https://doi.org/10.29407/dimastara.v4i2.26088>
- Matsun, M., Boisandi, B., Sari, I. N., Hadiati, S., & Pramuda, A. (2021). Development of Potential Energy Props Based on Arduino Uno Microcontroller to Improve Student achievement. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 7(2), 108–129. <https://doi.org/10.25273/jpfb.v7i2.9952>
- Matsun, M., Pramuda, A., Hadiati, S., & Pratama, H. (2026). Enhancing critical thinking in physics education: developing an Arduino-based GMC as an innovative learning tool. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 20(1), 578–589. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v20i1.22739>
- Nurhidayah, N., Syahri, M., & Agus, T. (2025). Effectiveness of Digital Learning Media on Students' Achievement in Science Education: A Quasi-Experimental Study in Islamic Junior Secondary School. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(3), 400–415. <https://doi.org/10.26618/654nz478>
- Rosalina, D., Yuliari, K., Setianingsih, D., & Zati, M. R. (2021). Faktor – Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Kompetensi Literasi Digital Mahasiswa di Era Revolusi Industri 4.0. *EKONIKA Jurnal Ekonomi Universitas Kadiri*, 6(2), 294. <https://doi.org/10.30737/ekonika.v6i2.1996>
- Rosman, E., Flomina, K., Hasanah, M., Febriani, W., Adi Atma, Y., & Jihan Sy, Y. (2023). Pelatihan Mikrokontroler Berbasis Arduino Bagi Siswa Mas Lubuk Malako. *Jiptek: Jurnal Pengabdian Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 1(2), 31–34. <https://doi.org/10.62527/jiptek.1.2.6>
- Salsabila, N. M., & Setiyawan, A. (2024). Penerapan Project Based Learning (PjBL) Dalam Meningkatkan Mahārah Qirāah Pada Kurikulum Merdeka Belajar. *Al Mi'yar: Jurnal Ilmiah Pembelajaran Bahasa Arab Dan Kebahasaaraban Vol.*, 7(1), 273–

290. <https://doi.org/10.35931/am.v7i1.2949>

- Sari, H., Pratiwi, M. P., & Syutaridho, S. (2025). Memahami Konsep Statistika (Pemusatan Data : Mean , Median , dan Modus) dalam Kehidupan Sehari-hari Menggunakan Pendekatan PMRI. *BLAZE : Jurnal Bahasa Dan Sastra Dalam Pendidikan Linguistik Dan Pengembangan*, 3(2), 132–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.59841/blaze.v3i2.2735>
- Setiawardani, W., Robandi, B., & Djohar, A. (2021). Critical Pedagogy in the Era of the Industrial Revolution 4.0 To Improve Digital Literacy Students Welcoming Society 5.0 in Indonesia. *PrimaryEdu : Journal of Primary Education*, 5(1), 107–118. <https://doi.org/10.22460/pej.v5i1.2073>
- Suparwati, S. (2024). Application of the Jigsaw Cooperative Learning Model Oriented Towards Improving High School Student Learning Outcomes. *Journal of Education Action Research*, 8(1), 135–142. <https://doi.org/10.23887/jear.v8i1.60744>
- Syahrani, F., Yufriadi, F., Alhkarni, A., Rizki, M. A., Jannah, N. Z., Ngardi, V., & Wibowo, T. (2025). Jigsaw Strategy on Learning Outcomes and Higher Order Thinking Skills of Students in Social Science at Madrasah Tsanawiyah. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 17(1), 1260–1273. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v17i1.6059>
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J. M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2023). Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for the Future of Work and Education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 1–32. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Wahab, A., Junaedi, J., & Azhar, M. (2021). Efektivitas Pembelajaran Statistika Pendidikan Menggunakan Uji Peningkatan N-Gain di PGMI. *JURNAL BASICEDU*, 5(2), 1039–1045. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i2.845>
- Zadorozhni, V. M. (2024). Using Arduino to develop research competencies of students in school physics education. *CTE Workshop Proceedings*, 11, 427–441. <https://doi.org/10.55056/cte.663>