

Pelatihan Pembuatan Eksperimen Fisika Digital dengan Arduino di Tinkercad untuk Meningkatkan Kompetensi Calon Guru

Riskawati ^{1*}, Dirgah Kaso Sanusi ², Ni Wayan Mega Savira Utami ³, Resky Irfanita ⁴

^{1, 2, 3, 4} Universitas Negeri Makassar, Indonesia

* riskawati@unm.ac.id

Abstrak

Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi calon guru fisika dalam merancang dan mengimplementasikan eksperimen fisika digital berbasis *Arduino* dan *Tinkercad*. Mitra kegiatan adalah 70 mahasiswa semester 1 Universitas Negeri Makassar yang sedang memprogram mata kuliah Fisika Dasar dan mengalami beberapa permasalahan utama: (1) terbatasnya fasilitas laboratorium sehingga mahasiswa minim pengalaman praktik eksploratif, (2) rendahnya keterampilan merancang eksperimen mandiri, dan (3) kurangnya pengalaman dalam pemrograman mikrokontroler serta penggunaan media komputasi fisik. Untuk menjawab permasalahan tersebut, tim pelaksana dan mitra menyepakati solusi berupa pelatihan intensif satu hari melalui metode experiential learning yang mencakup sesi teori, demonstrasi, praktik merakit rangkaian LED, serta penulisan kode *Arduino* untuk menghasilkan efek LED berkedip dan memudar. Pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui demonstrasi langsung, kerja kelompok, simulasi pada *Tinkercad*, diskusi, dan refleksi. Evaluasi menggunakan instrument penilaian, rubrik psikomotor, lembar observasi kolaboratif, dan kuesioner afektif. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pemberdayaan mitra secara terukur: (1) aspek kognitif meningkat signifikan sebesar +72,9% (skor 48 → 83), (2) 90% peserta berhasil merakit rangkaian dengan benar dan 85% mampu memodifikasi parameter PWM secara mandiri, (3) 95% peserta menunjukkan peningkatan motivasi dan minat terhadap pembelajaran fisika berbasis teknologi, serta (4) kolaborasi kelompok tercapai pada tingkat 92% sesuai indikator observasi. Secara keseluruhan, pelatihan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep dasar elektronika dan fisika, tetapi juga memberdayakan mahasiswa sebagai calon guru dengan keterampilan komputasi fisik, kreativitas digital, dan kemampuan integrasi teknologi dalam pembelajaran abad ke-21.

Keywords: *Eksperimen Fisika, Digital, Arduino, Tinkercad, Kompetensi Guru*

Pendahuluan

Pergeseran paradigma dalam pembelajaran sains menuntut agar calon guru tidak hanya memahami konsep fisika secara teoritis, tetapi juga memiliki kemampuan untuk mendesain pengalaman belajar yang bersifat aktif, eksperimental, dan terkoneksi dengan realitas (Barbosa et al., 2024). Dalam konteks pendidikan abad ke-21, penguasaan kompetensi digital dan komputasi termasuk pemrograman dan kontrol perangkat fisik menjadi bagian penting dari pembinaan guru sains dan fisika (Suters et al., 2021). Di samping itu, platform seperti *Tinkercad* dan modul komputasi fisik berbasis *Arduino* telah

diidentifikasi sebagai sarana yang menjembatani antara teori dan fenomena fisika nyata melalui eksperimen simulasi atau implementasi sederhana (Wijaya et al., 2024).

Penggunaan *Tinkercad* dalam aktivitas 3-D modeling oleh calon guru sains meningkatkan kemampuan spasial dan komunikasi mereka (Uzal, 2022; Karaismailoğlu & Yildirim 2023). Namun, mitra kegiatan ini yakni mahasiswa calon guru fisika dan dosen pengampu mata kuliah Fisika Dasar di salah satu program studi pendidikan fisika di Sulawesi Selatan masih menghadapi beberapa kendala nyata. Fasilitas laboratorium yang terbatas membuat mahasiswa kesulitan melakukan praktikum yang bersifat eksploratif dan kontekstual. Aktivitas pembelajaran masih didominasi oleh demonstrasi dosen, sementara kesempatan mahasiswa untuk merancang dan memodifikasi eksperimen sendiri sangat terbatas.

Selain itu, sebagian besar dosen mitra belum terbiasa memanfaatkan media berbasis komputasi fisik seperti *Arduino* dan *Tinkercad* karena keterbatasan pelatihan maupun akses perangkat. Kondisi ini mengakibatkan keterampilan teknis dan kemampuan integrasi teknologi dalam pembelajaran fisika mahasiswa belum berkembang optimal. Lebih jauh lagi, integrasi komputasi fisik mendukung pengembangan *computational thinking (CT)* dalam pembelajaran fisika, yang penting bagi persiapan guru abad ke-21 (Braun & Huwer, 2023). Oleh karena itu, penggunaan *Arduino-Tinkercad* dalam pembelajaran dasar fisika menjadi pilihan strategis: memungkinkan mahasiswa merancang dan menguji eksperimen LED sederhana (misalnya LED berkedip dan memudar) baik dalam simulasi maupun implementasi riil.

Kegiatan ini, mahasiswa dapat memvisualisasikan konsep arus, tegangan, dan resistansi dalam bentuk rangkaian digital yang dinamis dan dapat dimodifikasi secara langsung. Pada konteks mitra kegiatan, integrasi ini diterapkan sebagai media pembelajaran inovatif untuk mengatasi keterbatasan laboratorium dan memberikan pengalaman praktis yang lebih luas bagi mahasiswa. Melalui panduan dosen, mahasiswa belajar menulis kode sederhana menggunakan bahasa pemrograman *Arduino IDE*, menyusun rangkaian LED dengan resistor, dan menjalankan simulasi di *Tinkercad* untuk mengamati perubahan intensitas cahaya sesuai variasi parameter listrik. Proses ini tidak hanya menekankan pemahaman konseptual, tetapi juga menumbuhkan kemampuan berpikir algoritmik, kolaboratif, dan reflektif terhadap hubungan antara teori dan fenomena nyata (Weller et al., 2021).

Perancangan pengalaman belajar berbasis eksperimen digital dengan komputasi fisik tidak hanya memperkuat pemahaman konsep fisika, tetapi juga memperkaya keterampilan teknis, berpikir komputasional, dan pedagogis calon guru fisika, yang pada akhirnya mengarah pada integrasi *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)* yang semakin penting (Hsu, 2015). Integrasi ini menjadi langkah strategis dalam membangun kompetensi abad ke-21, di mana calon guru diharapkan tidak hanya mampu menjelaskan konsep ilmiah, tetapi juga merancang pengalaman belajar berbasis teknologi yang relevan, kreatif, dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata (Dariyanto et al., 2021; Jusniani et al., 2025). Sejalan dengan latar belakang tersebut, terdapat beberapa permasalahan utama dalam konteks pembelajaran Fisika Dasar bagi mahasiswa calon guru: Pertama, keterampilan praktis mahasiswa dalam merancang eksperimen fisika sederhana masih rendah.

Banyak mahasiswa hanya memperoleh pengalaman melihat demonstrasi atau membaca manual, tanpa kesempatan merancang dan mengeksplorasi sendiri alat atau rangkaian yang berhubungan dengan konsep fisika. Kedua, pengalaman mahasiswa dalam

pemrograman dan pengendalian perangkat digital yang menjadi bagian dari komputasi fisik masih minim. Padahal, platform seperti *Arduino* memerlukan kombinasi hardware-software serta sensor/aktuator untuk menjembatani konsep fisika dengan implementasi. Implementasi *Arduino* dalam pendidikan menengah dapat meningkatkan CT dan kemampuan teknologi siswa (Marin-Marín et al., 2024). Ketiga, hingga saat ini belum terdapat pelatihan sistematis yang menghubungkan secara eksplisit konsep Fisika Dasar dengan komputasi fisik di level mahasiswa semester 1. Akibatnya, integrasi antara konten fisika, pedagogi dan teknologi masih terpisah sedangkan literatur menunjukkan bahwa integrasi TPACK penting untuk efektivitas pembelajaran. Dengan demikian, ketiga permasalahan ini menunjukkan kebutuhan nyata untuk pengembangan pengalaman pembelajaran yang menggabungkan eksperimen digital (melalui simulasi dan *hardware*) dalam rangka memperkuat pemahaman konsep, meningkatkan keterampilan teknis, dan membangun integrasi antara konten, pedagogi dan teknologi.

Kegiatan ini memiliki beberapa tujuan utama yang diarahkan pada peningkatan pengalaman belajar mahasiswa calon guru fisika. Tujuan pertama adalah meningkatkan pemahaman konsep dasar fisika melalui eksperimen berbasis simulasi digital, sehingga mahasiswa tidak hanya secara teoritis memahami konsep tetapi juga melihat hubungan empiris antara konsep dan fenomena. Tujuan kedua adalah melatih mahasiswa dalam penggunaan *Arduino* dan *Tinkercad* untuk membuat eksperimen LED yang berkedip dan memudar kegiatan ini dirancang agar mahasiswa memperoleh pengalaman langsung dalam pemrograman, rangkaian elektronik, dan simulasi digital yang terkait dengan konsep arus, tegangan, dan resistansi. Tujuan ketiga adalah mengembangkan keterampilan kolaboratif, berpikir komputasional, dan kemampuan mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran. Salah satu kemampuan yang penting bagi calon guru fisika dalam menghadapi tuntutan pembelajaran abad 21 serta pengembangan TPACK mereka.

Kegiatan ini hendak memberikan manfaat bagi dua kelompok utama: mahasiswa dan dosen. Bagi mahasiswa calon guru fisika, manfaatnya meliputi peningkatan kompetensi pedagogik dan penguasaan TPACK mereka akan memperoleh pengalaman langsung merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi eksperimen digital yang mengintegrasikan konsep fisika, teknologi (*Arduino*, *Tinkercad*) dan pedagogi. Dengan demikian, mereka menjadi lebih siap menghadapi tantangan pembelajaran sains yang dinamis dan berbasis teknologi. Bagi dosen, manfaatnya adalah tersedianya media inovatif dalam pembelajaran Fisika Dasar dosen dapat memanfaatkan rangkaian *Arduino-Tinkercad* sebagai alternatif atau pelengkap praktikum konvensional yang mungkin terbatas alatnya, dengan biaya yang relatif rendah, fleksibilitas tinggi, dan konsep yang mudah diadaptasi. Media ini juga memungkinkan dosen mengeksplorasi pendekatan pembelajaran yang lebih aktif, berbasis proyek dan teknologi, yang selaras dengan literatur tentang pengembangan CT dan integrasi teknologi dalam sains (Eryilmaz, 2021).

Metode

Kegiatan ini dirancang sebagai workshop atau pelatihan berbasis pembelajaran langsung (*experiential learning*) yang menekankan praktik nyata dan refleksi. Sasaran kegiatan adalah 70 mahasiswa semester 1 Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Makassar pada semester ganjil 2024/2025. Pelatihan dilaksanakan di Laboratorium Komputer FMIPA UNM dengan durasi satu hari penuh (08.00–16.00 WITA). Pendekatan pembelajaran mencakup demonstrasi aktif, kerja kelompok (10 kelompok), diskusi, praktik langsung, dan refleksi evaluatif di akhir kegiatan. Metode ini didukung oleh literatur yang menunjukkan efektivitas *experiential learning* dalam

meningkatkan kemampuan teknis, kolaborasi, dan pemecahan masalah peserta (Rahman et al., 2024). Dalam konteks guru sains, workshop kolaboratif terbukti memperkuat integrasi *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)* serta kesiapan profesional calon guru (Handayani et al., 2024).

Sasaran Kegiatan

Sasaran kegiatan ini adalah mahasiswa calon guru fisika semester 1, yang pada umumnya belum memiliki pengalaman praktik komputasi fisik. Kegiatan juga melibatkan dosen pengampu mata kuliah Fisika Dasar sebagai fasilitator. Mahasiswa dibagi menjadi 10 kelompok kecil, masing-masing terdiri dari 7 orang untuk mendorong pembelajaran kolaboratif, saling berbagi pengetahuan, dan diskusi aktif selama proses praktik.

Materi Pelatihan

Materi pelatihan dibangun secara berurutan mulai dari pengenalan hingga aplikasi dan refleksi, agar mahasiswa calon guru fisika memperoleh fondasi yang kuat dan pengalaman langsung. Pertama, materi pengantar meliputi pengenalan platform *Tinkercad* dan papan mikrokontroler *Arduino*, termasuk antarmuka, simulator dan koneksi rangkaian elektronik simpel. Hal ini penting sebagai landasan teknologi dalam pembelajaran fisika (Erdogan, 2023). Lalu, materi dasar elektronika menyentuh komponen seperti LED, resistor, breadboard dan aplikasi Hukum Ohm – yang menjadi jembatan antara teori fisika dan praktik rangkaian. Selanjutnya, materi pemrograman *Arduino* mencakup fungsi dasar seperti *digitalWrite*, *analogWrite* dan *delay* ini menumbuhkan kemampuan komputasi fisik yang sangat relevan untuk pendidikan abad-21 (Coban & Buyukdede, 2024). Setelah itu, mahasiswa melaksanakan eksperimen LED berkedip dan memudar (PWM) sebagai implementasi konkret kegiatan rangkaian dan pemrograman. Terakhir, materi diakhiri dengan desain pembelajaran digital berbasis eksperimen fisika serta sesi refleksi dan penyusunan ide proyek lanjutan yang mendorong pengembangan kapasitas mahasiswa sebagai calon guru yang kreatif dan inovatif dalam menerapkan teknologi.

Langkah Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan kegiatan dibagi menjadi tiga fase utama, yaitu persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi. Pada tahap persiapan yang berlangsung selama satu minggu, tim melakukan koordinasi dengan dosen dan laboratorium, menyusun modul workshop, menyiapkan instrumen *penilaian*, serta memastikan kelengkapan perangkat seperti *Arduino* kit, komputer, akses internet, dan akun *Tinkercad* sehingga seluruh kebutuhan pelatihan tersedia sebelum kegiatan dimulai. Tahap pelaksanaan dilakukan dalam bentuk workshop satu hari penuh (8 jam), dimulai pada pukul 08.00 dengan sesi pembukaan dan pengantar, dilanjutkan demonstrasi penggunaan *Arduino-Tinkercad*, kerja kelompok, praktik langsung merakit rangkaian dan menulis kode, diskusi antar kelompok, serta sesi refleksi. Pada akhir kegiatan, setiap kelompok menghasilkan produk eksperimen LED berupa simulasi pada *Tinkercad* dan implementasi nyata menggunakan *Arduino*. Selanjutnya, tahap evaluasi dilakukan selama dua jam melalui pelaksanaan yang mengukur pengetahuan dan kemampuan pemrograman, observasi penyelesaian tugas kelompok, serta refleksi terstruktur yang digunakan untuk menyusun laporan hasil kegiatan. *Output* akhir dari tahap ini berupa laporan pelaksanaan lengkap dan refleksi mahasiswa mengenai pengalaman belajar yang diperoleh selama pelatihan.

Evaluasi kegiatan menggunakan berbagai instrumen untuk menangkap aspek kognitif, psikomotor, afektif, dan kolaboratif. Tes pengetahuan digunakan untuk mengukur

pemahaman konsep fisika dasar serta logika pemrograman *Arduino*. Rubrik psikomotor digunakan untuk menilai kemampuan mahasiswa dalam merakit rangkaian elektronik, menulis kode, menjalankan simulasi dan implementasi nyata sesuai aspek keterampilan teknis yang menjadi tuntutan dalam komputasi fisik. Kuesioner afektif dirancang untuk mengukur motivasi mahasiswa, persepsi mereka terhadap pembelajaran berbasis teknologi, dan kesiapan mereka mengajar menggunakan media digital aspek ini penting mengingat literatur mencatat bahwa persepsi guru terhadap teknologi sangat mempengaruhi adopsi dan efektivitasnya (Bozkurt, 2014; Kadarismanr et al., 2022). Observasi kelompok dilakukan selama workshop untuk melihat aktivitas kolaboratif, tingkat partisipasi, dan ketepatan waktu penyelesaian tugas sesuai prinsip pembelajaran aktif dan kolaboratif dalam pendidikan STEM.

Indikator keberhasilan pelaksanaan Program jika mencakup: $\geq 70\%$ peserta mengalami peningkatan skor pengetahuan minimal 20% ; $\geq 80\%$ peserta mampu membuat simulasi LED berkedip dan memudar secara mandiri. Untuk data kualitatif, narasi hasil observasi kelompok dan refleksi mahasiswa dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola kolaborasi, penggunaan teknologi, hambatan dan peluang pengembangan proyek lanjutan ini sejalan dengan rekomendasi literatur bahwa evaluasi kolaboratif dan refleksi mendalam penting dalam pembelajaran teknologi-berbasis proyek (Sumiati et al., 2024). Indikator afektif meliputi $\geq 90\%$ peserta menunjukkan sikap positif terhadap pembelajaran digital diukur melalui kuesioner afektif dan dianalisis frekuensi serta persentase jawaban positif.

Hasil

Profil Peserta

Peserta kegiatan berjumlah 70 mahasiswa semester 1 Program Pendidikan Fisika, terdiri dari 40 perempuan dan 30 laki-laki. Dari hasil survei awal, sekitar 95% peserta belum pernah menggunakan papan mikrokontroler *Arduino* sebelumnya, sehingga mereka berada pada level pemula dalam komputasi fisik. Sebanyak 60% peserta memiliki pengalaman dasar pemrograman melalui mata pelajaran TIK di SMA misalnya memahami konsep logika pemrograman, kendati belum pernah mengeksplorasi pemrograman perangkat keras atau rangkaian elektronik. Kondisi ini sejalan dengan temuan bahwa penggunaan *Arduino* dan simulasi seperti *Tinkercad* perlu diperkenalkan sejak awal bagi mahasiswa yang belum memiliki latar belakang teknis (Tselegkaridis, 2024).



Gambar 1. Suasana kegiatan pelatihan penggunaan *Arduino* dan *Tinkercad*

Demikian pula, sebuah penelitian menunjukkan bahwa pengenalan awal komputasi fisik di tingkat pendidikan tinggi dapat mempercepat pengembangan *computational thinking* dan pemahaman konsep fisika (Marín-Marín et al., 2024). Dengan demikian,

profil peserta ini menggambarkan kebutuhan nyata akan intervensi pelatihan intensif yang memperkenalkan dan membimbing mahasiswa dalam komputasi fisik serta integrasi teknologi dalam pembelajaran fisika dasar.

Hasil Kegiatan

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pelatihan Berbasis Arduino–Tinkercad

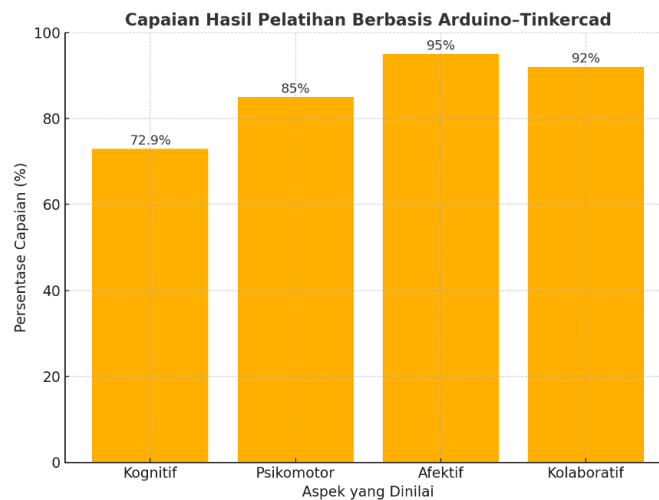
Aspek	Indikator Keberhasilan	Hasil Capaian	Keterangan/Interpretasi
Kognitif	Peningkatan pengetahuan	Sebelum: 48 → Setelah: 83	Peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep arus, tegangan, hukum Ohm, dan PWM; menunjukkan keterkaitan teori–praktik lebih baik. Selaras dengan Tkachuk (2025).
Psikomotor	Kemampuan merakit rangkaian dan menjalankan simulasi	90% berhasil merakit; 85% mampu memodifikasi PWM mandiri	Peserta menunjukkan kemampuan teknis tinggi dan kreativitas. Selaras dengan Riskawati et al. (2024).
Afektif	Sikap dan motivasi terhadap pembelajaran berbasis teknologi	95% menyatakan minat meningkat; 88% ingin membuat proyek lanjutan	Peserta antusias, lebih percaya diri, dan memiliki sikap positif terhadap fisika digital; mendukung hasil studi <i>Enhancing Attitudes and Engagement in First-Year Physics Learning</i> .
Kolaboratif (Observasi)	Partisipasi dan kerja kelompok aktif	92% kelompok menunjukkan kolaborasi efektif	Aktivitas diskusi dan kerja sama tinggi; peserta saling membantu dan aktif mempresentasikan hasil.
Capaian Umum Program	≥70% peserta meningkat ≥20 poin; ≥80% berhasil simulasi; ≥90% sikap positif	Tercapai seluruhnya	Seluruh target keberhasilan kegiatan tercapai atau melampaui indikator yang ditetapkan.

Hasil evaluasi pelatihan menunjukkan capaian positif pada seluruh aspek penilaian. Aspek kognitif mengalami peningkatan signifikan dengan kenaikan skor dari 48 menjadi 83 (+72,9%), menandakan penguatan pemahaman konsep arus, tegangan, Hukum Ohm, dan PWM. Pada aspek psikomotor, 90% peserta berhasil merakit rangkaian dengan benar dan 85% mampu memodifikasi PWM secara mandiri, mencerminkan keterampilan teknis yang baik. Aspek afektif juga menunjukkan hasil tinggi, di mana 95% peserta mengalami peningkatan minat belajar berbasis teknologi dan 88% berminat mengembangkan proyek lanjutan. Pada aspek kolaboratif, 92% kelompok menunjukkan kerja sama efektif melalui diskusi dan penyelesaian tugas bersama. Secara keseluruhan, seluruh indikator keberhasilan program tercapai atau melampaui target, sehingga pelatihan *Arduino–Tinkercad* terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa calon guru fisika.

Secara umum, hasil pelatihan menunjukkan peningkatan yang konsisten di seluruh aspek, dengan capaian tertinggi pada aspek afektif (95%) yang mencerminkan meningkatnya minat dan motivasi mahasiswa terhadap pembelajaran fisika berbasis teknologi. Aspek kolaboratif juga menunjukkan hasil yang tinggi (92%), mengindikasikan efektivitas pendekatan kerja kelompok dan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*). Sementara itu, peningkatan pada aspek psikomotor (85%) dan kognitif (72,9%) memperlihatkan bahwa peserta tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menerapkannya dalam praktik nyata melalui simulasi dan pemrograman.

Data kuantitatif dan kualitatif dari seluruh aspek penilaian dirangkum dalam bentuk grafik. Visualisasi ini dimaksudkan untuk menunjukkan perbandingan capaian tiap aspek

kognitif, psikomotor, afektif, dan kolaboratif sebagai representasi keberhasilan pelatihan berbasis komputasi fisik menggunakan *Arduino-Tinkercad*. Perbandingan capaian antar aspek disajikan secara lebih ringkas pada Gambar 1, yang menggambarkan distribusi persentase keberhasilan peserta dalam setiap kategori penilaian.



Gambar 2. *Persentase Capaian Tiap Aspek dalam Pelatihan Berbasis Arduino-Tinkercad.*

Gambar 1 menunjukkan bahwa capaian hasil pelatihan berbasis *Arduino-Tinkercad* mengalami peningkatan yang signifikan pada seluruh aspek penilaian. Aspek afektif menempati capaian tertinggi sebesar 95%, menandakan bahwa kegiatan ini sangat efektif dalam meningkatkan motivasi, minat, dan sikap positif mahasiswa terhadap pembelajaran fisika berbasis teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis pengalaman langsung (*experiential learning*) mampu menciptakan suasana belajar yang menyenangkan, relevan, dan bermakna bagi mahasiswa. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menegaskan bahwa pembelajaran berbasis simulasi dan teknologi digital dapat menumbuhkan persepsi positif terhadap sains dan meningkatkan kesiapan mahasiswa menjadi guru abad ke-21 (Erdogan, 2023; Nugraha et al., 2023).

Aspek kolaboratif menunjukkan capaian tinggi (92%), menandakan keberhasilan model pembelajaran berbasis kelompok dalam membangun kemampuan komunikasi, kerja sama, dan tanggung jawab bersama. Aktivitas kolaboratif selama pelatihan, seperti diskusi pemrograman dan troubleshooting rangkaian, memberi pengalaman sosial yang mendukung pembentukan kompetensi profesional calon guru fisika. Hal ini sejalan dengan pendekatan *collaborative project-based learning* di mana interaksi tim terbukti memperkuat integrasi antara teknologi, pedagogi, dan konten (TPACK) (Tkachuk, 2025). Selanjutnya, aspek psikomotor (85%) dan kognitif (72,9%) memperlihatkan peningkatan kemampuan teknis dan konseptual mahasiswa. Pencapaian ini mengindikasikan keberhasilan mahasiswa dalam memahami prinsip dasar elektronika, hukum Ohm, dan konsep arus-tegangan melalui eksperimen langsung dan simulasi digital.

Peningkatan pengetahuan juga menunjukkan bahwa mahasiswa dapat mentransfer pengetahuan teoritis ke dalam bentuk praktik nyata. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian yang melaporkan bahwa penggunaan *Tinkercad* dan *Arduino* secara simultan mampu meningkatkan keterampilan teknis mahasiswa hingga 85% dan tingkat keberhasilan eksperimen hingga 90% (Riskawati et al., 2024). Secara keseluruhan, hasil pelatihan menunjukkan bahwa integrasi komputasi fisik berbasis *Arduino-Tinkercad* tidak hanya memperkuat aspek pengetahuan konseptual mahasiswa, tetapi juga meningkatkan keterampilan teknis, kreativitas, dan sikap positif terhadap pembelajaran

fisika. Dengan capaian di atas 80% pada seluruh aspek, kegiatan ini dapat dikategorikan sangat berhasil, serta menunjukkan potensi besar untuk diterapkan secara berkelanjutan dalam pengembangan kurikulum berbasis teknologi di pendidikan calon guru fisika.

Dokumentasi kegiatan meliputi: foto-kegiatan pembukaan workshop, sesi praktik kelompok di laboratorium komputer, hasil simulasi pada *Tinkercad* (cuplikan layar), serta kode contoh peserta yang menunjukkan fungsi *digitalWrite()*, *analogWrite()* dan penggunaan *delay* untuk mengendalikan LED. Dokumentasi visual ini penting sebagai bukti kegiatan, bahan refleksi dan sumber untuk pengembangan proyek lanjutan. Dokumentasi tersebut akan diarsipkan dan dapat diakses oleh pengajar serta peserta untuk evaluasi dan publikasi lebih lanjut. Hasil pelaksanaan pelatihan ini menunjukkan bahwa kegiatan berbasis eksperimen digital menggunakan *Arduino* dan *Tinkercad* efektif dalam meningkatkan kompetensi dasar teknologi dan pedagogik calon guru fisika. Mahasiswa mulai memahami secara lebih konkret hubungan antara konsep fisika seperti arus listrik, tegangan, dan hukum Ohm dengan fenomena eksperimen digital yang mereka kerjakan (misalnya rangkaian LED berkedip dan memudar).

Hal ini sejalan dengan temuan bahwa integrasi *Arduino* dalam pembelajaran fisika dapat memperkuat pemahaman konsep serta mendorong kompetensi penelitian siswa (Zadorozhnii, 2024). Lebih lanjut, penggunaan *Arduino* dalam program STEM terbukti meningkatkan *problem-solving skills*, kolaborasi, dan minat siswa dalam konteks pembelajaran berbasis proyek (Oh, 2025). Hal ini mendukung hasil bahwa mahasiswa dalam kegiatan ini tidak hanya berhasil secara psikomotor (merakit rangkaian, mengubah parameter PWM) tetapi juga menunjukkan sikap afektif yang positif (minat belajar fisika dan keinginan mengembangkan proyek lanjutan). Penggunaan *Tinkercad* sebagai lingkungan simulasi juga terbukti mengurangi hambatan teknis seperti kerusakan komponen fisik atau biaya alat yang tinggi, serta mempercepat akses ke eksperimen digital. Sebagai contoh, penelitian (Pivac, 2024) mencatat bahwa *Tinkercad* memfasilitasi integrasi sirkuit elektronik ke dalam kelas dengan cara yang lebih aman serta efisien dibandingkan alat fisik tradisional.

Demikian pula, sebuah studi menemukan bahwa penggunaan *Tinkercad-assisted learning media* menghasilkan peningkatan hasil belajar sebesar 11,5% dibandingkan metode tradisional (Asbendri et al., 2024). Keunggulan-keunggulan ini mendukung bahwa kegiatan ini memang sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menuntut integrasi teknologi, pedagogi, dan konten. Di sisi lain, beberapa tantangan muncul dalam pelaksanaan. Waktu pelatihan yang hanya satu hari penuh terbatas untuk mendalami aspek pemrograman (khususnya sintaks C++ yang mendasari *Arduino*) sehingga beberapa peserta mengalami kesulitan pada tahap awal yang sejalan dengan ulasan literatur mengenai hambatan adaptasi pemrograman perangkat keras bagi guru atau mahasiswa pemula (Topcubasi & Tiryaki, 2023).

Terlebih, meskipun *Tinkercad* mengurangi risiko fisik, tetap diperlukan bimbingan dalam memahami logika rangkaian elektronik dan pemrograman hal yang sering disebut sebagai hambatan adopsi teknologi baru dalam pendidikan fisika. Untuk ke depannya, pelatihan dengan durasi yang lebih panjang atau kegiatan berkelanjutan dapat memberikan kesempatan bagi peserta untuk mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam dan mengeksplorasi proyek *extension* secara lebih bebas. Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa kombinasi antara komputasi fisik berbasis *Arduino* dan simulasi *Tinkercad* sangat potensial dalam pembelajaran dasar fisika untuk calon guru tidak hanya dari sisi penguasaan konsep fisika, tetapi juga dari sisi keterampilan teknis, kolaboratif, dan afektif.

Namun, perlu diakui bahwa untuk memaksimalkan potensi tersebut, diperlukan desain pelatihan yang mempertimbangkan waktu, pendampingan pemrograman, dan kesinambungan aktivitas proyek. Selain hasil peningkatan kompetensi peserta, kegiatan ini memberikan dampak nyata bagi mitra dan institusi penyelenggara. Bagi mahasiswa calon guru fisika, kegiatan ini menjadi pengalaman pertama mereka dalam mengintegrasikan teori fisika dasar dengan praktik digital melalui komputasi fisik berbasis *Arduino* dan simulasi *Tinkercad*. Dampak jangka pendek yang terlihat adalah meningkatnya rasa percaya diri mahasiswa dalam menggunakan teknologi pembelajaran serta munculnya inisiatif untuk mengembangkan proyek lanjutan berbasis sensor dan mikrokontroler.

Sejumlah mahasiswa bahkan melaporkan minat untuk menjadikan eksperimen berbasis *Arduino* sebagai bahan tugas kuliah dan topik penelitian kecil (*mini research project*) di semester berikutnya. Bagi dosen pengampu mata kuliah Fisika Dasar, kegiatan ini memberikan alternatif model pembelajaran inovatif yang dapat diadaptasi dalam perkuliahan dengan biaya rendah namun berdampak tinggi. Penggunaan *Tinkercad-Arduino* sebagai media praktikum digital membuka peluang bagi dosen untuk mengatasi keterbatasan alat laboratorium fisika konvensional, sekaligus memperkaya variasi pendekatan pembelajaran aktif dan kolaboratif.

Secara kelembagaan, kegiatan ini memperkuat kapasitas laboratorium komputer FMIPA UNM sebagai pusat pelatihan komputasi fisik dan literasi digital pendidikan sains. Pelaksanaan PKM ini juga menumbuhkan budaya kolaboratif antara dosen dan mahasiswa dalam konteks pengembangan learning innovation, serta berpotensi menjadi model percontohan pelatihan serupa di program studi lain dalam rumpun MIPA dan pendidikan teknologi. Dengan demikian, dampak PKM ini tidak hanya terbatas pada peningkatan hasil belajar mahasiswa, tetapi juga berkontribusi terhadap transformasi praktik pembelajaran fisika di perguruan tinggi, peningkatan kompetensi TPACK calon guru, serta penguatan ekosistem pembelajaran berbasis teknologi di lingkungan FMIPA UNM.

Kesimpulan

Kegiatan pelatihan berbasis *Arduino* dan *Tinkercad* terbukti efektif meningkatkan kompetensi teknologi, pedagogik, dan konseptual mahasiswa calon guru fisika melalui pendekatan experiential learning yang memungkinkan peserta memahami konsep arus, tegangan, dan Hukum Ohm sekaligus menerapkannya dalam simulasi dan perakitan rangkaian. Secara kognitif, psikomotor, dan afektif, pelatihan ini menghasilkan peningkatan signifikan, disertai penguatan soft skills seperti kolaborasi, komunikasi, pemecahan masalah, dan kreativitas yang esensial bagi guru abad ke-21. Meskipun terdapat tantangan berupa keterbatasan waktu dan kebutuhan pendampingan dalam pemrograman C++, kegiatan ini tetap mampu mencapai luaran utama, yaitu tersusunnya modul pelatihan, terselenggaranya workshop komputasi fisik, terbentuknya produk eksperimen LED berbasis *Arduino-Tinkercad*, serta tersusunnya laporan dan dokumentasi kegiatan sebagai dasar pengembangan pelatihan lanjutan. Secara keseluruhan, kegiatan ini memberikan dampak nyata dalam memperkuat kapasitas mahasiswa untuk mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran fisika secara berkelanjutan.

Acknowledgment

-

Daftar Pustaka

- Asbendri B. L., Anori S., Dewi I. P., & Efrizon. (2024). Exploring the impact of *Tinkercad*-assisted learning on student performance in industrial electronics subject. *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, 2(2), 134-148. <https://doi.org/10.58536/j-hytel.v2i2.124>
- Barbosa, A., Vale, I., & Alvarenga, D. (2024). The use of *Tinkercad* and 3D printing in interdisciplinary STEAM education: A focus on engineering design. *STEM Education*, 4(3), 222-246. <https://doi.org/10.3934/steme.2024014>
- Bozkurt, E. (2014, December). TPACK levels of physics and science teacher candidates: Problems and possible solutions. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching*, 5(1),
- Braun, D., & Huwer, J. (2023). Computational literacy as an important element of a digitized science teacher education A systematic review of curriculum patterns in physics teacher education degrees in Germany. *Education Sciences*, 13(10), 1063. <https://doi.org/10.3390/educsci13101063>
- Coban, A., & Buyukdede, M. (2024). Exploring Motion: Integrating Arduino in Physics Education for 21st Century Skills. *arXiv preprint arXiv:2405.06647*. <https://arxiv.org/pdf/2405.06647>
- Dariyanto, D., Suharjuddin, S., & Awiria, A. (2021). Pelatihan Pengembangan Kompetensi Pedagogik Guru Melalui Penelitian Tindakan Kelas di SDN Teluk Pucung I Kota Bekasi. *Jurnal IPMAS*, 1(2), 59–66. <https://doi.org/10.54065/ipmas.1.2.2021.32>
- Erdogan, R. (2023). Examination of the usability of *Tinkercad* application in teacher education. *PLoS ONE*, 18(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.10034876>
- Eryilmaz, S. (2021). Effect of *Tinkercad* on students' computational thinking skills and perceptions: A case of Ankara Province. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 20(1), 25–38. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1290797>
- Handayani, A. N., Fitrianti, N. N., Kusumawardana, A., Elmunsyah, H., Arai, K., & Asmara, R. A. (2024). Development of Autodesk-based Digital Teaching Materials as a Support for Basic Digital Engineering Learning in Vocational Schools. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 473, p. 04007). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/2024_04007
- Hsu, Y. S. (2015). Development of science teachers' TPACK. *London: Springer Singapore Heidelberg*. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-441-2>
- Jusniani, N., Nopianti, H. . ., Arreski, D. F. ., & kewajiban, T. H. . (2025). Peningkatan Kompetensi Guru Sekolah Dasar Islam Kreatif Kabupaten Cianjur melalui Pelatihan Numerasi Berbasis Kearifan Lokal Cianjur dalam Mendukung Kurikulum Merdeka. *Jurnal IPMAS*, 5(2), 77–86. <https://doi.org/10.54065/ipmas.5.2.2025.615>
- Karaismailoglu, F., & Yildirim, M. (2024). The effect of 3D modeling performed using *Tinkercad* or concrete materials in the context of the flipped classroom on pre-service teachers' spatial abilities. *Research in Science & Technological Education*, 42(4), 1264-1283. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2223134>

- Kadarismanr, N., Kuswanto, H., & Purwanto, A. (2022, December). Arduino tinkercad simulator training for applied physics MGMP vocational teachers in the special region of Yogyakarta. In *9th International Conference on Education Research, and Innovation (ICERI 2021)* (pp. 358-363). Atlantis Press.
https://doi.org/10.2991/978-2-494069-67-1_40
- Nugraha, M. G., Kidman, G., & Tan, H. (2023). Pre-service teacher in STEM education: An integrative review and mapping of the Indonesian research. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(5), em2262.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/13155>
- Marín-Marín, J. A., et al. (2024). Computational thinking and programming with *Arduino* in secondary education. *Journal of SL, XX(X)*, XX-XX.
[https://doi.org/10.1016/S2405-8440\(24\)052083](https://doi.org/10.1016/S2405-8440(24)052083)
- Oh, S. J. (2025). *Arduino*-based fine particulate matter STEM program: Enhancing problem-solving and collaboration in a post-pandemic blended high school setting. *Frontiers in Psychology*, 16, 1524777.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1524777>
- Pivac, J. (2024). Application of *Tinkercad* web simulator in the teaching of technical culture. *Polytechnica*, 8(2), 48-56. <https://doi.org/10.36978/cte.8.2.3>
- Rahman, A. A., Kaniawati, I., Riandi, R., Hendayana, S., & Rahman, T. (2024). Low-cost *Arduino* to foster the engineering design process in STEM education. *Journal of Engineering Science and Technology*, 19(5), 35-42.
- Riskawati, S., Agustini, S., & Sanusi, D. K. (2024). Pengaruh *Tinkercad* sebagai media pembelajaran elektronika dasar melalui proyek digital measuring device. *Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha*, 14(3), 532-540.
<https://doi.org/10.23887/jjpf.v14i3.87280>
- Sumiati, S., Ramadani, S., Fauzan, A. S., & Rusdiana, D. (2024). Efektivitas alat peraga medan magnetik digital berbasis arduino uno untuk meningkatkan pemahaman siswa sma. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 10(2).
<http://dx.doi.org/10.30870/gravity.v10i2.23887>
- Suters, L., Suters, H., & Anderson, A. (2021). STEM literacy in the classroom to enable societal change. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 21(2), 491-526.
- Tkachuk, H. V. (2025). STEM project design in computer microelectronics education: Integration of *Tinkercad* and *Arduino*. *Contemporary Technical Education*, 12, 197-221. <https://doi.org/10.55056/cte.929>
- Topcubasi, T., & Tiryaki, A. (2023). The effect of *Arduino*-based E-STEM education on students' entrepreneurial skills and STEM attitudes. *Journal of Science Learning*, 6(4), 424-434. <https://doi.org/10.12345/jsl.v6i4.424>
- Tselegkaridis, S. (2024). Learning circuits and coding with *Arduino* board in higher education. *Information*, 15(5), 245. <https://doi.org/10.3390/info15050245>
- Uzal, G. (2022). The Use of *Arduino* in Physics Laboratories. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 21(3), 88-100.
<https://eric.ed.gov/?id=EJ1345978>

- Weller, D. P., Bott, T. E., Caballero, M. D., & Irving, P. W. (2021). Developing a learning goal framework for computational thinking in computationally integrated physics classrooms. *arXiv preprint arXiv:2105.07981*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.07981>
- Wijaya, A., Pratidhina, E., Herwinarso, H., & Untung, B. (2024). Implementation Of Arduino-Assisted 5e Learning Model In Physics Online Learning. *Magister Scientiae*, 52(1), 20-29. <https://doi.org/10.33508/mgs.v52i1.5278>
- Zadorozhnii, V. M. (2024, March). Using Arduino to develop research competencies of students in school physics education. In *CTE Workshop Proceedings* (11) 427-441.
<https://doi.org/10.55056/cte.663 acnsoci.org>