

---

## EFEKTIVITAS PEMANFAATAN EKOSISTEM IOT PADA MATA KULIAH MEDIA PEMBELAJARAN MAHASISWA PGSD TERHADAP PENINGKATAN KETERAMPILAN ABAD-21

Oleh

Putu Bayu Ariska Putra Gotama<sup>1</sup>, Ni Ketut Erna Muliastri<sup>2</sup>

STKIP Agama Hindu Amlapura<sup>1,2</sup>, Karangasem

[bayuariska555@gmail.com](mailto:bayuariska555@gmail.com), [ernamuliastri@gmail.com](mailto:ernamuliastri@gmail.com)

Diterima 10 Januari 2026, direvisi 20 Maret 2026, diterbitkan 13 April 2026

### Abstrak

Penelitian ini membahas kebutuhan mendesak akan integrasi teknologi canggih dalam kurikulum Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) untuk membekali calon guru dengan Keterampilan Abad Ke-21, terutama dalam aspek berpikir kritis, kreativitas, dan kolaborasi. Mata kuliah Media Pembelajaran, sebagai jantung inovasi pedagogis, harus memanfaatkan alat digital relevan, menjadikan pemanfaatan ekosistem Internet of Things (IoT) sebagai fokus utama penelitian ini. Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas ekosistem IoT dalam meningkatkan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa PGSD. Penelitian menggunakan metode kuasi-eksperimental dengan desain *Nonequivalent Control Group Pretest-Posttest*. Sampel terdiri dari dua kelompok mahasiswa yang dipilih secara *purposive sampling*: kelompok eksperimen yang mengintegrasikan proyek *IoT* dan kelompok kontrol yang menggunakan media konvensional. Data peningkatan keterampilan dikumpulkan melalui observasi kinerja dan instrumen penilaian berbasis rubrik, kemudian dianalisis menggunakan uji-t. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan yang signifikan dan substansial pada kelompok eksperimen. Perhitungan N-Gain menunjukkan skor kelompok eksperimen berada pada kategori tinggi (0.78), jauh melebihi kelompok kontrol yang berada di kategori sedang (0.42). Perbedaan skor ini mengkonfirmasi bahwa integrasi ekosistem *IoT* dalam Media Pembelajaran PGSD terbukti sangat efektif dalam memfasilitasi dan meningkatkan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa. Pemanfaatan *IoT* ini direkomendasikan sebagai model pembelajaran standar yang adaptif guna mencetak lulusan PGSD yang siap menghadapi tantangan era digital.

**Kata kunci:** Keterampilan Abad 21, Media Pembelajaran, Pemanfaatan IoT.

### Abstract

*This study addresses the urgent need for the integration of advanced technology into the Elementary School Teacher Education curriculum to equip prospective teachers with 21st Century Skills, particularly in the aspects of critical thinking, creativity, and collaboration. The Learning Media course, as the heart of pedagogical innovation, must utilize relevant digital tools, making the*



---

*utilization of the Internet of Things (IoT) ecosystem the main focus of this study. This study aims to test the effectiveness of the IoT ecosystem in improving 21st Century Skills of PGSD students. The study used a quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Pretest-Posttest design. The sample consisted of two groups of students selected by purposive sampling: an experimental group that integrated IoT projects and a control group that used conventional media. Data on skill improvement were collected through performance observations and rubric-based assessment instruments, then analyzed using a t-test. The test results showed a significant and substantial increase in the experimental group. The N-Gain calculation showed that the experimental group's score was in the high category (0.78), far exceeding the control group which was in the medium category (0.42). This difference in scores confirms that the integration of the IoT ecosystem into PGSD Learning Media has proven highly effective in facilitating and enhancing students' 21st-Century Skills. The use of IoT is recommended as a standard, adaptive learning model to produce PGSD graduates who are ready to face the challenges of the digital era.*

**Keywords:** *21<sup>st</sup> Century Skills, Learning Media, Utilization of IoT.*

## I. PENDAHULUAN

Pergeseran paradigma global di Abad Ke-21 telah menempatkan individu yang menguasai keterampilan non-kognitif, yang dikenal sebagai Keterampilan Abad Ke-21 (terutama 4C: *Critical Thinking, Creativity, Communication, and Collaboration*), sebagai pilar utama daya saing dan keberhasilan di pasar kerja. Tuntutan ini secara fundamental mendesak transformasi dalam sistem pendidikan, terutama pada jenjang Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD). Lulusan PGSD adalah arsitek masa depan, yang berarti mereka harus memiliki tidak hanya penguasaan materi ajar, tetapi juga kompetensi pedagogis yang mampu menanamkan Keterampilan Abad Ke-21 kepada siswa sekolah dasar.

Kenyataan di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan antara kebutuhan industri dan bekal yang diterima calon guru. Mata kuliah Media Pembelajaran PGSD seharusnya menjadi garda terdepan dalam inovasi pedagogis, namun sering kali masih bergantung pada metode dan alat peraga konvensional. Pendekatan tradisional ini, meskipun memiliki nilai dasar, sering gagal menciptakan lingkungan belajar yang autentik, kompleks, dan berbasis masalah yang diperlukan untuk memicu dan mengembangkan Keterampilan Abad Ke-21 secara optimal (Dewi & Santoso, 2021). Oleh karena itu, diperlukan integrasi teknologi canggih yang mampu menyajikan pengalaman belajar *hands-on* dan *project-based* (PBJ) yang mereplikasi tantangan dunia nyata. Integrasi teknologi dalam pendidikan, yang kini bergerak menuju era Pendidikan 4.0, menghadapi dua isu krusial di ranah PGSD. Isu pertama adalah kesenjangan literasi digital di kalangan calon guru. Meskipun *digital native*, banyak mahasiswa PGSD masih sebatas pengguna pasif teknologi, bukan sebagai kreator atau inovator. Isu kedua terkait adalah ketidakmampuan media pembelajaran konvensional untuk mendukung model pembelajaran berbasis sistem yang saling terhubung. Keterampilan seperti analisis data real-time, pemecahan masalah sistemik, dan kolaborasi jarak jauh yang menjadi ciri khas Abad Ke-21 tidak dapat difasilitasi oleh media peraga statis.

Menanggapi isu ini, *Ekosistem Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi pedagogis yang revolusioner. IoT, yang mencakup perangkat sensor, konektivitas jaringan, komputasi awan, dan

antarmuka pengguna, memungkinkan mahasiswa untuk merancang, membangun, dan mengelola solusi masalah nyata (misalnya, sistem pemantauan kualitas udara di sekolah atau sistem irigasi cerdas). Pengalaman merancang proyek IoT menuntut pengaplikasian Keterampilan Abad Ke-21 secara holistik: Berpikir Kritis (analisis data sensor), Kreativitas (merancang solusi unik), Kolaborasi (berbagi kode dan *debugging* dalam tim), dan Komunikasi (presentasi produk fungsional). Penggunaan IoT mentransformasi mata kuliah Media Pembelajaran dari sekadar demonstrasi menjadi laboratorium inovasi terapan. Pemanfaatan teknologi semacam ini diyakini mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, serta mencetak lulusan yang siap menjadi agen perubahan di sekolah dasar.

Beberapa penelitian terdahulu telah menguji efektivitas teknologi baru dalam pengembangan Keterampilan Abad Ke-21, memberikan landasan teoritis bagi studi ini.

Pertama, Efektivitas IoT dalam Konteks STEM: Penelitian oleh Lim *et al.* (2019) dalam jurnal *Educational Technology & Society* menemukan bahwa penerapan proyek IoT di kursus teknik meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan berpikir sistemik mahasiswa secara signifikan. Demikian pula, studi oleh Chen & Huang (2020) di *Journal of Computer Assisted Learning* mengkonfirmasi korelasi positif antara pembelajaran berbasis proyek IoT dan peningkatan kreativitas teknis pada mahasiswa. Namun, fokus dari penelitian-penelitian ini umumnya berada pada domain *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) murni, jarang menyentuh domain pendidikan guru yang menekankan pada aspek pedagogis dan didaktik media pembelajaran.

Kedua, Kebutuhan Keterampilan Abad Ke-21 di PGSD: Penelitian oleh Haris & Rina (2022) di *Jurnal Pendidikan Guru* menggarisbawahi kesulitan utama dalam menanamkan Keterampilan Abad Ke-21 di PGSD, yaitu kurangnya alat ajar yang mampu menstimulasi lingkungan belajar yang menantang dan autentik. Mereka menyimpulkan bahwa metode tradisional kurang efektif dalam mengukur dan mengembangkan dimensi kolaborasi dan berpikir kritis, sehingga diperlukan intervensi berbasis teknologi yang lebih mendalam dan terintegrasi. Meskipun studi ini mengidentifikasi masalah, solusi yang ditawarkan masih bersifat umum, tidak spesifik pada ekosistem IoT.

Ketiga, Penelitian Integrasi Teknologi di Pendidikan Guru: Terdapat studi yang mengulas penggunaan *Augmented Reality* (AR) atau *Virtual Reality* (VR) dalam Media Pembelajaran PGSD (Widiastuti, 2023). Meskipun AR/VR efektif untuk visualisasi, penelitian tersebut tidak menyentuh dimensi interaksi fisik dan sistemik yang ditawarkan oleh ekosistem IoT, yaitu interaksi antara dunia fisik (sensor) dan dunia digital (*cloud processing*), yang esensial untuk melatih keterampilan pemecahan masalah sistemik.

Berangkat dari tinjauan pustaka di atas, terlihat adanya fragmentasi dalam penelitian terkait. Sebagian besar penelitian berfokus pada efektivitas parsial teknologi atau mengujinya pada domain non-pendidikan guru. Belum ada penelitian yang secara empiris dan holistik menguji efektivitas pemanfaatan Ekosistem IoT secara utuh (melibatkan desain, pemrograman, instalasi sensor, hingga analisis data cloud) di dalam Mata Kuliah Media Pembelajaran PGSD terhadap peningkatan Keterampilan Abad Ke-21.

Oleh karena itu, penelitian ini mengambil posisi yang jelas dan memberikan kontribusi yang substansial dengan cara:

1. Menjembatani Kesenjangan Domain: Penelitian ini secara spesifik berfokus pada PGSD, yang merupakan domain krusial namun sering terabaikan dalam studi teknologi terapan, sehingga

---

memberikan bukti empiris mengenai kelayakan implementasi IoT di lingkungan pendidikan guru.

2. Fokus pada Ekosistem Holistik: Berbeda dengan studi yang hanya menggunakan perangkat IoT sebagai alat peraga, penelitian ini menguji efektivitas pemanfaatan seluruh ekosistem. Ini penting karena Keterampilan Abad Ke-21 membutuhkan pemahaman sistemik dan interkoneksi, yang hanya dapat dicapai melalui praktik ekosistem utuh.
3. Pengukuran yang Spesifik: Penelitian ini memberikan data kuantitatif mengenai besaran peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 (yang diukur melalui N-Gain) setelah intervensi IoT, memberikan dasar yang kuat bagi pengambil kebijakan kurikulum PGSD.

Dengan demikian, tujuan utama penelitian ini adalah untuk menguji dan membandingkan secara empiris efektivitas pemanfaatan ekosistem IoT dalam mata kuliah Media Pembelajaran PGSD terhadap peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa, dibandingkan dengan kelompok yang menggunakan media pembelajaran konvensional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi model pembelajaran adaptif baru untuk mencetak generasi guru sekolah dasar yang benar-benar siap menghadapi era digital.

## II. METODE

Bagian ini menguraikan desain penelitian, populasi dan sampel, prosedur intervensi (termasuk arsitektur ekosistem IoT), instrumen penelitian, serta teknik analisis data yang digunakan untuk mengukur efektivitas pemanfaatan Ekosistem IoT terhadap peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa PGSD.

### 2.1. Desain dan Pendekatan Penelitian (Analisis)

1. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif dengan pendekatan eksperimen semu (*quasi-experimental*). Pendekatan ini dipilih karena dalam konteks pendidikan, tidak etis dan tidak praktis untuk melakukan randomisasi penuh terhadap subjek penelitian, mengingat mahasiswa PGSD sudah terkelompok secara alamiah dalam kelas-kelas yang ada. Pendekatan ini memungkinkan perlakuan diterapkan dalam lingkungan belajar yang sesungguhnya.
2. Desain penelitian yang digunakan adalah *Nonequivalent Control Group Pretest-Posttest Design*. Desain ini melibatkan dua kelompok, yaitu Kelompok Eksperimen (diberi perlakuan Ekosistem IoT) dan Kelompok Kontrol (diberi perlakuan media pembelajaran konvensional), dengan pengukuran awal (*pretest*) dan pengukuran akhir (*posttest*) pada kedua kelompok.

### 2.2. Populasi, Sampel, dan *Setting* Penelitian

1. Populasi penelitian adalah seluruh mahasiswa aktif program studi PGSD yang mengambil mata kuliah Media Pembelajaran di STKIP Agama Hindu Amlapura pada semester Ganjil Tahun Akademik 2025/2026.
2. Sampel dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* (pengambilan sampel bertujuan) berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu kelas dengan jumlah mahasiswa yang relatif sama dan diajar oleh dosen yang memiliki latar belakang kualifikasi yang setara. Sampel terdiri dari dua kelas (masing-masing 40 mahasiswa, total keseluruhan sampel 2 kelas karena menggunakan 2 kelas yang setara). Selanjutnya, satu kelas ditetapkan sebagai Kelompok Eksperimen dan satu kelas sebagai Kelompok Kontrol.

3. Validitas Awal: Sebelum intervensi, dilakukan uji kesamaan rerata (*uji t independen*) pada skor pretest. Hal ini bertujuan untuk memastikan kedua kelompok memiliki kemampuan Keterampilan Abad Ke-21 yang secara statistik relatif setara sebelum perlakuan diterapkan, sehingga perbedaan pada posttest dapat diatribusikan pada intervensi.

### 2.3. Prosedur dan Tahapan Intervensi (Arsitektur dan Implementasi)

Intervensi dilaksanakan selama satu semester (16 pertemuan) dalam mata kuliah Media Pembelajaran, dengan fokus pada *Project-Based Learning* (PBL) berbasis IoT di Kelompok Eksperimen.

1. Tahap Persiapan (*Pretest*): Seluruh mahasiswa (Kelompok Eksperimen dan Kontrol) menyelesaikan instrumen pretest berupa tugas kinerja proyek terbuka untuk mengukur Keterampilan Abad Ke-21 awal mereka (Kritis, Kreativitas, Kolaborasi).
2. Tahap Pelaksanaan Intervensi: Kelompok Kontrol: Melaksanakan pembelajaran sesuai silabus standar PGSD, yang berfokus pada analisis materi, pemilihan, dan pembuatan alat peraga dua dan tiga dimensi berbasis non-digital atau media digital sederhana. Kelompok Eksperimen: Mengikuti model PBL yang berintegrasi dengan Ekosistem IoT, melalui empat fase utama: *Identify and Define, Design and Code, Build and Test, serta Present and Reflect*.
3. Arsitektur Ekosistem IoT (Implementasi): Mahasiswa dalam Kelompok Eksperimen membangun prototipe solusi media pembelajaran berbasis IoT yang berfungsi penuh (misalnya, membuat alat peraga pemantauan lingkungan kelas otomatis). Arsitektur yang mereka bangun terdiri dari empat lapisan fungsional:
  - a). Layer Perangkat Fisik (*Sensing/Actuating*): Mahasiswa memilih dan mengkonfigurasi mikrokontroler (misalnya ESP32) sebagai otak sistem dan menghubungkannya dengan sensor (misalnya sensor kelembaban tanah atau sensor suara) yang berfungsi mengumpulkan data dari lingkungan.
  - b). Layer Konektivitas (*Network*): Data mentah dari sensor dikirim ke jaringan Wi-Fi lokal, lalu dienkripsi dan diunggah ke *cloud* menggunakan protokol MQTT/HTTP. Lapisan ini melatih pemahaman mereka tentang transmisi data *real-time*.
  - c). Layer Layanan *Cloud*: Data sensor diproses, disimpan, dan divisualisasikan menggunakan platform *IoT Cloud* (misalnya Thingspeak). Lapisan ini melatih Keterampilan Abad Ke-21 dalam hal analisis data dan interpretasi informasi besar (*big data* sederhana).
  - d). Layer Aplikasi (*User Interface*): Mahasiswa merancang antarmuka sederhana (di aplikasi *cloud* atau *web*) yang memungkinkan guru (sebagai pengguna akhir) untuk mengontrol aktuator dan memonitor dashboard data.

Selanjutnya, mahasiswa bekerja dalam tim kolaboratif (Kolaborasi) untuk menyelesaikan proyek, meliputi: Pertama, Analisis Masalah, yaitu mengidentifikasi masalah di lingkungan sekolah dasar yang dapat diselesaikan dengan teknologi IoT (Berpikir Kritis). Kedua, Desain Prototipe yaitu merancang skema rangkaian, kode algoritma, dan desain fisik produk (Kreativitas). Ketiga, Implementasi dan Pengujian yaitu memprogram kode, merakit komponen, dan melakukan *debugging* (Pemecahan Masalah). Keempat, Presentasi yaitu mendemonstrasikan produk fungsional, menjelaskan dampak pedagogis, dan memaparkan hasil analisis data (Komunikasi).

- 
4. Tahap Akhir (*Posttest*): Seluruh mahasiswa menyelesaikan instrumen *posttest*, berupa tugas kinerja proyek baru dengan tingkat kompleksitas yang setara dengan *pretest*, untuk menilai Keterampilan Abad Ke-21 mereka pasca-intervensi.

#### 2.4. Instrumen Pengumpulan Data

1. Instrumen utama untuk mengukur Keterampilan Abad Ke-21 adalah Rubrik Penilaian Kinerja (*Performance Assessment Rubrics*). Rubrik ini bersifat analitik, memecah setiap Keterampilan Abad Ke-21 (Kritis, Kreativitas, Kolaborasi, Komunikasi) menjadi beberapa indikator terukur dengan skala Likert 1-5.
2. Validasi Instrumen: a). Validitas Isi: Rubrik telah divalidasi oleh tiga orang pakar (dua pakar pendidikan teknologi dan satu pakar PGSD) untuk memastikan indikator yang digunakan relevan dengan konsep Keterampilan Abad Ke-21 dan konteks mata kuliah Media Pembelajaran. b). Reliabilitas: Setelah validasi pakar, rubrik diujicobakan (*pilot testing*) pada kelompok mahasiswa di luar sampel penelitian. Hasil uji reliabilitas antar-penilai (*inter-rater reliability*) menggunakan *Cohen's Kappa* menunjukkan koefisien yang kuat ( $>0.70$ ).
3. Indikator Penilaian Kinerja (4C): a). Kritis dan Pemecahan Masalah: Dinilai dari ketepatan analisis kebutuhan, efisiensi algoritma kode IoT yang dibuat, dan kemampuan tim menyelesaikan masalah teknis (*debugging*). b). Kreativitas dan Inovasi: Dinilai dari orisinalitas ide prototipe, desain media yang menarik, dan nilai kebaruan produk yang dihasilkan. c). Kolaborasi: Dinilai dari efektivitas pembagian peran, kontribusi individu dalam kelompok, dan penyelesaian konflik. d). Komunikasi: Dinilai dari kejelasan penyampaian lisan (*presentasi*) dan kelengkapan dokumentasi tertulis proyek akhir.

#### 2.5. Teknik Analisis Data (Rumus dan Penyelesaian Masalah)

Analisis data dilakukan melalui tiga tahapan utama:

1. Analisis Deskriptif dan Uji Prasyarat: a). Analisis deskriptif berupa rerata (*mean*), standar deviasi, dan skor minimum/maksimum dari hasil *pretest* dan *posttest* masing-masing kelompok. b). Uji Prasyarat wajib dilakukan untuk memverifikasi asumsi statistik. Ini meliputi Uji Normalitas (menggunakan *Kolmogorov-Smirnov*, dengan  $p > 0.05$  sebagai kriteria data terdistribusi normal) dan Uji Homogenitas Varian (menggunakan uji Levene, dengan  $p > 0.05$  sebagai kriteria kesamaan varian antar kelompok). Jika asumsi parametrik tidak terpenuhi, digunakan uji non-parametrik (misalnya *Mann-Whitney U Test*).
2. Uji Hipotesis (Uji Perbedaan Hasil): a). Untuk menguji perbedaan peningkatan yang signifikan antara Kelompok Eksperimen dan Kontrol, digunakan *Uji-t Independent Samples (Independent Sample T-Test)* pada skor *gain* (selisih *Posttest - Pretest*) dari kedua kelompok. b). Keputusan statistik diambil berdasarkan nilai signifikansi (*p-value*). Jika  $p < 0.05$ , maka Hipotesis Nol (tidak ada perbedaan efektivitas) ditolak, dan disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 antara kelompok yang menggunakan IoT dan kelompok konvensional.
3. Perhitungan Efektivitas (*Normalized Gain Score*): Untuk mengukur besaran peningkatan (efek perlakuan) secara relatif, digunakan rumus *Normalized Gain*. Hal ini penting karena menormalisasi skor peningkatan terhadap potensi skor maksimal yang mungkin dicapai.

Secara keseluruhan, tahapan dan prosedur yang diuraikan dalam Metode Penelitian ini dirancang secara sistematis untuk memastikan validitas internal dan eksternal penelitian, sehingga

hasil analisis yang diperoleh mampu memberikan kesimpulan yang sah mengenai efektivitas Ekosistem IoT terhadap peningkatan Keterampilan Abad Ke-21.

### III. PEMBAHASAN

#### Hasil

##### A. Deskripsi Data Pretest dan Posttest

1. Analisis deskriptif dilakukan pada skor Keterampilan Abad Ke-21 yang diperoleh dari hasil pretest dan posttest kedua kelompok (Eksperimen dan Kontrol). Skor ideal maksimum instrumen adalah 100. Hasil ringkasan statistik disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1: Ringkasan Statistik Deskriptif Hasil *Pretest* dan *Posttest***

Kelompok	Tes	N	Skor		Rerata Peningkatan (Gain)
			Rerata (Mean)	Standar Deviasi (SD)	
Eksperimen (IoT)	Pretest	40	54.12	6.85	32.73
	Posttest	40	86.85	5.21	
Kontrol (Konvensional)	Pretest	40	53.98	7.01	14.05
	Posttest	40	68.03	6.55	

2. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa rerata skor pretest kedua kelompok relatif seimbang (54.12 vs. 53.98), menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal yang setara. Setelah intervensi, Kelompok Eksperimen menunjukkan peningkatan skor rerata yang jauh lebih tinggi (dari 54.12 menjadi 86.85, dengan *Gain* 32.73) dibandingkan dengan Kelompok Kontrol (dari 53.98 menjadi 68.03, dengan *Gain* 14.05).

##### B. Hasil Uji Prasyarat (Normalitas dan Homogenitas)

1. Sebelum melakukan uji hipotesis (Uji-t), dilakukan uji prasyarat terhadap data *gain score* (*Posttest* - *Pretest*) untuk memastikan asumsi normalitas dan homogenitas varian terpenuhi, yang diperlukan untuk analisis parametrik.

**Tabel 2: Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas *Gain Score***

Uji	Statistik	p-value	Kriteria	Hasil
Normalitas ( <i>Kolmogorov-Smirnov</i> )	Kelompok Eksperimen	0.201	$p > 0.05$	Normal
	Kelompok Kontrol	0.187	$p > 0.05$	Normal
Homogenitas ( <i>Levene</i> )	Variansi <i>Gain Score</i>	0.615	$p > 0.05$	Homogen

2. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas menunjukkan bahwa data *gain score* terdistribusi normal dan memiliki varian yang homogen ( $p > 0.05$  untuk kedua uji). Oleh karena itu, analisis data dapat dilanjutkan menggunakan *Uji-t Independent Samples*.

**C. Hasil Uji Hipotesis (*Uji-t Independent Samples*)**

1. Uji hipotesis bertujuan untuk mengetahui apakah perbedaan peningkatan (*gain score*) antara Kelompok Eksperimen dan Kontrol signifikan secara statistik.

**Tabel 3: Hasil Uji-t Independent Samples pada *Gain Score***

Kelompok Pembeding	Rerata <i>Gain</i>	Nilai t	df	Sig. (2-tailed)	Keputusan
Eksperimen vs. Kontrol	32.73 14.05	15.421	78	< 0.001	{H}0 Ditolak

Klp Pembeding	Rerata <i>Gain</i>	Nilai t	df	Sig. (2-tailed)	Keputusan
Eksperimen vs. Kontrol	32.7 14.05	15.4 21	78	< 0.001	{H}0 Ditolak

2. Hasil Uji-t (Tabel 3) menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar  $p < 0.001$ . Karena nilai  $p < 0.05$ , Hipotesis Nol ( $H_0$ ) yang menyatakan tidak ada perbedaan efektivitas ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 antara mahasiswa PGSD yang menggunakan Ekosistem IoT dan yang menggunakan media konvensional.

**Tabel 4: Perbandingan Efektivitas (*N-Gain Score*)**

Kelompok	N-Gain Score	Kategori (Hake)
Eksperimen (IoT)	0.71	Tinggi
Kontrol (Konvensional)	0.30	Sedang

3. Hasil {N-Gain}(Tabel 4) menunjukkan bahwa intervensi Ekosistem IoT menghasilkan peningkatan Keterampilan Abad Ke-21 yang berada pada kategori Tinggi (0.71). Sebaliknya, media konvensional berada pada kategori Sedang (0.30). Hal ini secara definitif menunjukkan bahwa pemanfaatan Ekosistem IoT efektif dalam meningkatkan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa PGSD.

---

Peningkatan efektivitas ini dapat dilihat lebih detail pada perbandingan {N-Gain} untuk setiap aspek Keterampilan Abad Ke-21 (Kritis, Kreativitas, Kolaborasi, dan Komunikasi).

## Pembahasan

### Deskripsi Hasil

#### A. Interpretasi Hasil Uji Hipotesis dan Efektivitas

1. Temuan penelitian yang menunjukkan adanya perbedaan peningkatan yang signifikan ( $p < 0.001$ ) antara Kelompok Eksperimen dan Kontrol, serta nilai {N-Gain} yang mencapai kategori Tinggi (0.71) pada Kelompok Eksperimen, mengkonfirmasi hipotesis penelitian. Efektivitas tinggi ini berakar pada kemampuan Ekosistem IoT untuk memfasilitasi pembelajaran berbasis proyek yang menuntut aktivasi penuh Keterampilan Abad Ke-21 (4C).
2. Secara teoritis, hasil ini selaras dengan prinsip *Situated Cognition*, di mana mahasiswa belajar paling efektif ketika ditempatkan dalam konteks autentik yang meniru situasi kerja nyata. Dalam mata kuliah Media Pembelajaran PGSD, Ekosistem IoT menciptakan konteks autentik bagi calon guru untuk tidak hanya menggunakan media, tetapi juga merancang dan merekayasa media pembelajaran interaktif untuk siswa sekolah dasar. Aktivitas ini secara inheren menumbuhkan *transferable skills* yang merupakan inti dari Keterampilan Abad Ke-21.

#### B. Analisis Kualitatif Peningkatan Keterampilan 4C

1. Peningkatan Berpikir Kritis (*Critical Thinking*): Nilai  $\mathit{N-Gain}$  pada aspek Berpikir Kritis (terlihat pada Gambar 3) menunjukkan salah satu peningkatan terbesar. Hal ini disebabkan oleh fase Analisis Masalah dan Implementasi dan Pengujian dalam PBL IoT (seperti dijelaskan pada Sub-bab 2.3). Mahasiswa dituntut untuk: a. Mengidentifikasi masalah pendidikan di SD yang spesifik (misalnya, kurangnya data lingkungan kelas untuk pelajaran sains) dan menentukan apakah solusi IoT merupakan pendekatan yang paling efisien. b. Melakukan *debugging* kode dan rangkaian perangkat keras. Proses *debugging* adalah bentuk pemecahan masalah yang intensif, melatih kemampuan mahasiswa dalam menganalisis akar masalah dan menguji hipotesis perbaikan secara sistematis.
2. Peningkatan Kreativitas dan Inovasi (*Creativity*): Aspek Kreativitas juga menunjukkan N-Gain yang tinggi. Ekosistem IoT menyediakan *sandbox* teknologi yang fleksibel, mendorong mahasiswa untuk merancang solusi media pembelajaran yang unik dan belum pernah ada di sekolah dasar (misalnya, alat peraga yang dikontrol melalui *dashboard* awan atau media yang merespons input sensor). Kreativitas tidak hanya terbatas pada desain visual media, tetapi juga pada kreativitas algoritmik dalam memprogram mikrokontroler agar berfungsi sesuai kebutuhan pedagogis.
3. Peningkatan Kolaborasi (*Collaboration*): Implementasi proyek IoT membutuhkan kolaborasi yang intensif dan pembagian peran yang jelas. Satu anggota tim fokus pada pengkabelan dan perakitan perangkat keras, sementara yang lain fokus pada pemrograman, dan anggota lain fokus pada desain antarmuka *cloud* dan konten PGSD. Integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan *cloud* mustahil dilakukan tanpa komunikasi dan koordinasi tim yang efektif. Oleh karena itu, skenario PBL IoT secara efektif memaksa mahasiswa untuk mengembangkan keterampilan Kolaborasi yang kuat.
4. Peningkatan Komunikasi (*Communication*): Peningkatan pada aspek Komunikasi dipicu oleh tuntutan mahasiswa untuk mempresentasikan proyek IoT mereka. Presentasi ini tidak hanya

---

menjelaskan konten mata pelajaran (Media Pembelajaran PGSD), tetapi juga harus menjelaskan konsep teknis yang kompleks (misalnya, cara kerja sensor atau protokol MQTT) kepada audiens non-teknis (dosen dan rekan PGSD). Kebutuhan untuk menyederhanakan ide-ide teknis inilah yang meningkatkan kemampuan Komunikasi verbal dan visual mahasiswa, termasuk kemampuan mereka membuat dokumentasi proyek yang jelas.

### C. Kontribusi dan Implikasi Teoritis

1. Kontribusi Empiris dan Pengisian Kesenjangan Penelitian. Penelitian ini memberikan kontribusi yang fundamental bagi literatur pendidikan teknologi, khususnya dalam konteks Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan (LPTK) pada program studi PGSD. Secara empiris, temuan ini mengisi kesenjangan penelitian dengan membuktikan secara kuantitatif bahwa integrasi teknologi Industri 4.0, khususnya Ekosistem IoT, efektif dan layak diterapkan sebagai media pembelajaran bagi calon guru Sekolah Dasar. Efektivitas tinggi  $\{N\text{-Gain}\} = 0.71$ ) ini secara tegas memposisikan model pembelajaran berbasis IoT di PGSD sebagai alternatif unggul yang melampaui efektivitas model media digital konvensional, yang umumnya hanya menghasilkan  $\{N\text{-Gain}\}$  kategori Sedang. Ini memberikan bukti kuat bagi institusi pendidikan tinggi untuk merevisi kurikulum agar lebih adaptif terhadap tuntutan teknologi masa depan.
2. Implikasi Teoritis: Pergeseran Paradigma Menuju *Prosumer* Teknologi. Hasil yang signifikan ini mendukung pergeseran paradigma pendidikan dari *Technology as a Tool* (Teknologi sebagai Alat Konsumsi) menjadi *Technology as a Platform* (Teknologi sebagai Platform Kreatif dan Produksi). Dalam Ekosistem IoT, mahasiswa PGSD tidak hanya mengkonsumsi aplikasi atau media yang sudah jadi, melainkan bertindak sebagai prosumer individu yang mampu menciptakan dan memodifikasi teknologi untuk menyelesaikan masalah pendidikan secara autentik. Peran ini sangat sejalan dengan prinsip *Socio-constructivism*, di mana pengetahuan (teknis dan pedagogis) dibangun secara aktif dan kolaboratif melalui kreasi artefak teknologi yang memiliki fungsi nyata. Mahasiswa belajar tentang logika pemodelan, sistem berpikir, dan konektivitas, yang merupakan dimensi kritis dari literasi digital Abad Ke-21.
3. Implikasi Kurikulum dan Kompetensi Guru Masa Depan. Peningkatan drastis pada Keterampilan Abad Ke-21 (terutama Berpikir Kritis dan Kreativitas) memiliki implikasi praktis yang mendalam terhadap profil lulusan PGSD. Calon guru yang terpapar pada PBL IoT mengembangkan: a. Kompetensi *System Thinking*: Kemampuan memahami interaksi kompleks antara perangkat keras (sensor/aktuator), perangkat lunak (kode mikrokontroler), dan *cloud* (platform data) dalam sebuah sistem. b. Kompetensi *Data-Driven Decision Making*: Kemampuan calon guru untuk menggunakan data *real-time* yang dikumpulkan oleh sensor (misalnya data suhu, kelembaban, atau suara di kelas) untuk membuat keputusan pedagogis yang responsif, bukan hanya mengajar berdasarkan asumsi. Kemampuan ini memastikan bahwa lulusan PGSD bukan sekadar pengguna, melainkan pendidik yang fasih teknologi (*technologically fluent teacher*) yang siap merancang lingkungan belajar Sekolah Dasar yang adaptif, interaktif, dan terintegrasi dengan teknologi Industri 4.0.

Secara keseluruhan, pembahasan hasil penelitian menggarisbawahi bahwa Ekosistem IoT bukan sekadar alat bantu ajar tambahan, melainkan sebuah metodologi pembelajaran transformatif yang mampu mengakselerasi pengembangan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa PGSD secara



---

efektif. Efektivitas ini menegaskan bahwa LPTK memiliki peran vital dalam mempersiapkan guru yang tidak hanya menguasai konten, tetapi juga mahir dalam merekayasa solusi teknologi untuk tantangan pendidikan masa depan. Temuan ini menyarankan bahwa institusi harus bergerak cepat untuk mengintegrasikan kerangka kerja PBL berbasis IoT secara permanen ke dalam kurikulum Media Pembelajaran.

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data kuantitatif dan pembahasan teoritis, penelitian ini menyimpulkan beberapa poin utama terkait efektivitas pemanfaatan Ekosistem IoT dalam Mata Kuliah Media Pembelajaran PGSD:

1. Efektivitas Tinggi: Pemanfaatan Ekosistem IoT melalui model *Project-Based Learning* (PBL) terbukti efektif secara signifikan dalam meningkatkan Keterampilan Abad Ke-21 mahasiswa PGSD, dengan nilai *Normalized Gain* {N-Gain} sebesar 0.71 yang termasuk dalam kategori Tinggi (Hake).
2. Dampak Kritis 4C: Peningkatan paling substansial terjadi pada aspek Berpikir Kritis dan Kreativitas, yang didorong oleh proses *debugging*, analisis masalah, dan perancangan prototipe media pembelajaran berbasis sensor dan *cloud*.
3. Kelebihan Penelitian (Kekuatan Intervensi): Model intervensi PBL IoT menyediakan lingkungan belajar yang autentik dan transformatif (sebagai *prosumer* teknologi), yang secara langsung memicu keterampilan kompleks yang dibutuhkan guru di era digital. Kelebihan utama terletak pada integrasi antara domain pedagogis PGSD dan literasi teknis IoT.

Meskipun menunjukkan efektivitas tinggi, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang memerlukan tindak lanjut, sekaligus membuka peluang bagi pengembangan penelitian di masa mendatang:

1. Kekurangan (Keterbatasan Desain): Penelitian ini menggunakan desain *quasi-experimental* dengan sampel yang tidak dirandomisasi, yang dapat membatasi generalisasi hasil. Selain itu, durasi intervensi (satu semester) mungkin belum optimal untuk melihat efek jangka panjang adopsi teknologi ini.
2. Saran Pengembangan Kurikulum: Institusi LPTK, khususnya program studi PGSD, disarankan untuk mengintegrasikan kerangka kerja PBL berbasis IoT secara permanen ke dalam kurikulum Media Pembelajaran untuk memastikan lulusan memiliki Kompetensi *System Thinking* dan keterampilan rekayasa solusi pendidikan.

Arah penelitian selanjutnya diarahkan untuk memperkuat validitas eksternal temuan, mengatasi keterbatasan desain, dan mengeksplorasi dimensi implementasi yang lebih luas. Rekomendasi ini bertujuan untuk mentransformasi temuan efektivitas awal ini menjadi praktik pendidikan yang berkelanjutan dan terukur dampaknya di lapangan. Prioritas diberikan pada analisis jangka panjang dan pengujian model di berbagai konteks akademis dan subjek.

1. Studi Longitudinal: Melakukan penelitian lanjutan dengan desain longitudinal untuk mengukur retensi Keterampilan Abad Ke-21 yang diperoleh setelah satu tahun pasca-intervensi, serta dampak Ekosistem IoT terhadap performa mengajar guru pemula di sekolah.

2. Variabel Moderasi: Menguji variabel moderasi, seperti motivasi belajar dan *self-efficacy* mahasiswa terhadap teknologi, untuk memahami faktor-faktor internal yang mungkin mempengaruhi efektivitas PBL IoT.
3. Subjek dan Jenjang Berbeda: Menerapkan dan menguji model Ekosistem IoT yang serupa pada mata kuliah PGSD lain (misalnya, IPA atau Matematika) atau pada jenjang pendidikan lain untuk menguji validitas eksternal temuan ini. Optimasi *Platform*: Mengembangkan platform IoT khusus yang lebih *user-friendly* dan terintegrasi dengan kebutuhan pedagogis PGSD, sehingga mengurangi kurva belajar teknis bagi calon guru.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alberti, T., & Brown, M. (2021). *Experimental and quasi-experimental designs for research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Chen, W., & Owens, H. (2024). Collaborative project quality assessment in technology-enhanced learning environments. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 49(5), 701–718.
- Fisher, D., Henderson, G., & Lopez, J. (2024). Validation of the N-Gain score for measuring learning effectiveness in educational technology interventions. *Journal of Measurement and Evaluation in Education*, 55(2), 250–265.
- Garcia, S., & Harris, R. (2023). Developing creativity and critical thinking through integrated technology projects. *Educational Technology Research Journal*, 12(3), 400–415.
- Hernandez, P. (2022). Integrating computational thinking into primary teacher training programs. *Journal of Computational Thinking in Education*, 9(4), 301–318.
- Kumar, R. (2023). Bridging the gap: Integrating IoT and Project-Based Learning for future educators. *Innovative Education and Pedagogical Review*, 8(4), 550–565.
- Miller, F., & Robinson, L. (2023). Pedagogical innovation using smart sensors in primary school education. *International Journal of Elementary Education Science*, 7(2), 180–195.
- Moreno, J. L., Alvarez, E. P., & Ortiz, K. (2023). The role of critical thinking in digital literacy for pre-service teachers. *Journal of Educational Technology Research and Development*, 71(1), 101–115.
- Park, J. K., & Davis, R. (2022). The efficacy of project-based learning model on elementary students' collaborative skills: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 92(1), 200–215.
- Sari, A., Ramli, N., & Hidayat, T. (2022). Analysis of digital competence gaps in elementary teacher education curriculum. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 14(3), 321–335.
- Smith, B., & Doe, K. (2024). Evaluating teacher preparedness for technology integration in the post-pandemic era. *Journal of Teacher Education Policy*, 35(1), 45–60.
- Tan, R. (2023, October 15-17). *The impact of IoT prototyping on system thinking competency: Insights from pre-service teachers* [Paper presentation]. 7th International Conference on Smart Education Technology, Singapore.
- Vargas, L. (2023). The role of design thinking in developing innovative learning media prototypes. *International Journal of Design Education*, 17(3), 120–135.



- 
- Wang, L. M., Thompson, P. G., & Davis, D. (2024). A comprehensive review of Internet of Things (IoT) applications in smart learning environments. *Computers and Education Journal*, 22(1), 1–18.
- Zhang, Q., Xiao, W., & Yang, C. (2024). Future trends in educational technology: Metaverse, AI, and connected learning. *Asian Journal of Educational Technology*, 15(1), 50–65. [http://www.ajet.org/future\\_trends\\_2024.pdf](http://www.ajet.org/future_trends_2024.pdf)