


Peningkatan Hasil Belajar Mahasiswa Melalui Integrasi IoT dalam Pembelajaran Berbasis Pengalaman pada Pendidikan Tinggi

Pajar Machmud¹, Akhmad Gunawan², Agus Purwanto³, Herianto Saputra⁴

^{1,2,3,4}Sekolah Tinggi Teknologi Informatika Sony Sugema, Jalan Raya Lemahmulya RT.008/RW.002, Gokgik, Ds. Lemahmulya, Kec. Majalaya, Kab. Karawang, Jawa Barat
E-mail: pajarmachmud@sttis.ac.id

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.890>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 15 May 2025

Revised: 20 May 2025

Accepted: 27 May 2025

Kata kunci

Hasil Belajar , Integrasi IoT, Pembelajaran Berbasis Pengalaman , Pendidikan Tinggi

Keywords

Learning Outcomes, IoT Integration, Experience-Based Learning, Higher Education



ABSTRACT

Transformasi digital dalam pendidikan tinggi menuntut pembelajaran yang lebih kontekstual dan berbasis teknologi. Salah satu teknologi utama dari Industri 4.0 yang berpotensi diadopsi dalam pendidikan adalah Internet of Things (IoT). Namun, implementasi IoT dalam sistem pembelajaran masih terbatas, dan kurikulum cenderung tidak mengakomodasi kebutuhan industri untuk lulusan dengan literasi digital dan keterampilan berbasis data. Siswa sering kali kurang memiliki pengalaman langsung dalam menerapkan teknologi dalam pengaturan dunia nyata, terutama dalam keberlanjutan dan efisiensi operasional. Penelitian ini mengembangkan model pembelajaran berbasis proyek menggunakan pendekatan ADDIE (Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, Evaluasi) yang terintegrasi dengan perangkat IoT sederhana. Siswa ditugaskan untuk memetakan proses logistik Usaha Kecil dan Menengah (UKM), mengidentifikasi sumber limbah, dan merumuskan solusi rantai pasokan sirkular berdasarkan data dari sensor suhu, kelembaban, dan gerak. Proyek-proyek tersebut dilakukan secara kolaboratif dengan mitra UKM untuk memastikan konteks pembelajaran yang relevan dan dapat diterapkan. Proses pembelajaran dipadukan dengan siklus pembelajaran eksperiensial Kolb untuk memperkuat keterlibatan dan refleksi mahasiswa terhadap praktik industri. Evaluasi menunjukkan bahwa 92% mahasiswa memahami konsep rantai pasokan sirkular, dan 85% dapat mengoperasikan perangkat IoT secara mandiri. Skor proyek akhir rata-rata mencapai 93,8/100, dengan solusi yang dinilai langsung oleh UKM mitra. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model pembelajaran berbasis teknologi kontekstual yang menjembatani dunia akademis dan kebutuhan industri kecil. Lembaga pendidikan lain dapat meniru model ini untuk memperkuat integrasi literasi digital, keberlanjutan, dan kolaborasi industri. Proses pembelajaran dipadukan dengan siklus pembelajaran eksperiensial Kolb untuk memperkuat keterlibatan dan refleksi mahasiswa terhadap praktik industri. Evaluasi menunjukkan bahwa 92% mahasiswa memahami konsep rantai pasokan sirkular, dan 85% dapat mengoperasikan perangkat IoT secara mandiri. Skor proyek akhir rata-rata mencapai 93,8/100, dengan solusi yang dinilai langsung oleh UKM mitra. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model pembelajaran berbasis teknologi kontekstual yang menjembatani dunia akademis dan kebutuhan industri kecil. Lembaga pendidikan lain dapat meniru model ini untuk memperkuat integrasi literasi digital, keberlanjutan, dan kolaborasi industri.

Digital transformation in higher education demands more contextual and technology-based learning. One key technology from Industry 4.0 that has the potential to be adopted in education is the Internet of Things (IoT). However, IoT implementation in learning systems is still limited, and curricula tend not to accommodate industry needs for graduates with digital literacy and data-driven skills. Students often lack direct experience in applying technology in real-world settings, especially in sustainability and operational efficiency. This research developed a project-based learning model using the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) approach integrated with simple IoT devices. Students were tasked with mapping the logistics processes of Small and Medium Enterprises (SMEs), identifying waste sources, and formulating circular supply chain solutions based on data from temperature,

humidity, and motion sensors. The projects were conducted collaboratively with SME partners to ensure relevant and applicable learning contexts. The learning process was combined with Kolb's experiential learning cycle to strengthen student engagement and reflection on industry practices. Evaluation showed that 92% of students understood the concept of a circular supply chain, and 85% could operate IoT devices independently. The average final project score reached 93.8/100, with solutions directly valued by the partner SMEs. This research contributes to developing a contextual, technology-based learning model that bridges the academic world and the needs of small industries. Other educational institutions can replicate this model to strengthen the integration of digital literacy, sustainability, and industry collaboration.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

How to Cite: Pajar Machmud, et al (2025). Peningkatan Hasil Belajar Mahasiswa Melalui Integrasi IoT dalam Pembelajaran Berbasis Pengalaman pada Pendidikan Tinggi 3(4). 2337-2343
<https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.890>

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, transformasi digital telah membawa dampak signifikan terhadap berbagai sektor, termasuk pendidikan tinggi. Salah satu teknologi kunci dalam revolusi industri 4.0 yang berpotensi besar untuk mengubah pendekatan pembelajaran adalah Internet of Things (IoT). IoT memungkinkan perangkat fisik terhubung secara real-time untuk mengumpulkan, berbagi, dan menganalisis data (Malhotra et al. 2021; Shahroom and Hussin 2018). Dalam konteks pendidikan, teknologi ini membuka peluang baru untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, berbasis data, dan kontekstual (Zhamanov et al. 2018). Sejalan dengan pendekatan experiential learning yang menekankan pada keterlibatan aktif mahasiswa dalam proses belajar, integrasi IoT memungkinkan mahasiswa untuk mengalami proses pembelajaran secara langsung melalui pemantauan lingkungan fisik dan analisis data nyata. Hal ini terutama relevan dalam program studi teknik, manajemen rantai pasok, dan keberlanjutan, di mana pemahaman praktik sangat diperlukan untuk menjembatani teori dan aplikasi di lapangan (Mercer et al. 2017).

Meskipun potensi IoT dalam meningkatkan kualitas pembelajaran telah banyak dibahas dalam literatur, penerapannya di lingkungan pendidikan tinggi masih terbatas. Banyak institusi menghadapi tantangan dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam kurikulum secara efektif, baik karena keterbatasan sumber daya, kurangnya kesiapan dosen, maupun ketiadaan model pembelajaran yang terstruktur (Zhamanov et al. 2018). Selain itu, pendekatan pembelajaran konvensional cenderung tidak cukup untuk menumbuhkan keterampilan praktis dan kemampuan pemecahan masalah kompleks yang dibutuhkan di era industri digital. Mahasiswa sering kali hanya mendapatkan pemahaman teoritis tanpa pengalaman langsung dalam mengoperasikan atau memanfaatkan teknologi seperti IoT, sehingga menciptakan kesenjangan keterampilan antara dunia pendidikan dan kebutuhan industri (Al Harrasi et al. 2023). Untuk menjawab tantangan tersebut, pendekatan desain instruksional berbasis experiential learning dapat menjadi solusi strategis. Dengan menggabungkan siklus pembelajaran Kolb yang terdiri dari pengalaman konkrit, refleksi, konseptualisasi abstrak, dan eksperimen aktif, mahasiswa dapat terlibat secara penuh dalam proses pembelajaran yang kontekstual dan berbasis pemecahan masalah. Integrasi IoT dalam kerangka ini memungkinkan mahasiswa mengakses dan menganalisis data langsung dari lingkungan nyata seperti operasional UKM atau fasilitas akademik (Shahroom and Hussin 2018).

Penerapan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) dalam mendesain pengalaman belajar memungkinkan institusi pendidikan menyusun program pembelajaran berbasis IoT yang terstruktur dan sistematis. Pendekatan ini dapat dimulai dari identifikasi kebutuhan pembelajaran, perancangan skenario berbasis proyek, pengembangan media dan alat bantu berbasis IoT, hingga penerapan dalam kelas dan evaluasi dampaknya terhadap capaian pembelajaran mahasiswa. Dalam praktiknya, mahasiswa diberi tugas untuk memetakan alur supply chain mitra industri kecil, menggunakan sensor sederhana untuk mengukur konsumsi energi, pemakaian bahan baku, dan output limbah. Data yang diperoleh diolah untuk merancang solusi circular supply chain yang lebih efisien dan berkelanjutan. Kegiatan ini tidak hanya melibatkan keterampilan teknis tetapi juga berpikir sistemik,

komunikasi tim, dan kemampuan adaptasi di lapangan (Astuti, Margunayasa, and Suarjana 2019; Salinas-Navarro, Palma-Mendoza, and Vilalta-Perdomo 2024).

Penerapan nyata seperti ini juga membuka peluang kerja sama antara perguruan tinggi dan industri, memperkuat relevansi pendidikan dengan kebutuhan pasar kerja. Mahasiswa yang telah mengalami proses pembelajaran semacam ini menunjukkan pemahaman yang lebih dalam, kemandirian tinggi, serta kesiapan untuk berkontribusi dalam proyek digitalisasi dan keberlanjutan di dunia profesional. Evaluasi dari penerapan pendekatan ini menunjukkan hasil yang positif. Dalam studi kasus implementasi experiential learning berbasis IoT di Meksiko, mahasiswa berhasil menyelesaikan proyek desain ulang supply chain dengan nilai rata-rata 98,8/100. (Ang et al. 2010; Salinas-Navarro et al. 2024) Hasil ini menunjukkan bahwa pengalaman belajar berbasis data nyata dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep serta keterampilan analitis dan kolaboratif mahasiswa. Namun demikian, penerapan model ini juga menghadapi tantangan, terutama dalam hal kebutuhan sumber daya tambahan seperti perangkat IoT, pelatihan dosen, dan waktu pendampingan lapangan. Selain itu, evaluasi jangka panjang terhadap dampak pembelajaran ini terhadap performa lulusan di dunia kerja masih perlu diteliti lebih lanjut (Fan and Li 2024).

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan model pembelajaran berbasis teknologi di pendidikan tinggi. Dengan mengintegrasikan IoT dalam skema experiential learning, model ini memberikan kerangka kerja yang aplikatif bagi institusi untuk mempersiapkan mahasiswa menghadapi tantangan dunia kerja yang semakin terdigitalisasi. Selain itu, pendekatan ini juga mendukung penguatan kolaborasi antara dunia pendidikan dan industri melalui proyek nyata berbasis data, sekaligus mendorong pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) melalui peningkatan efisiensi sumber daya dan pengurangan limbah dalam proses bisnis. Model ini dapat direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut pada berbagai disiplin ilmu untuk menciptakan pendidikan yang lebih adaptif, kontekstual, dan berdampak nyata.

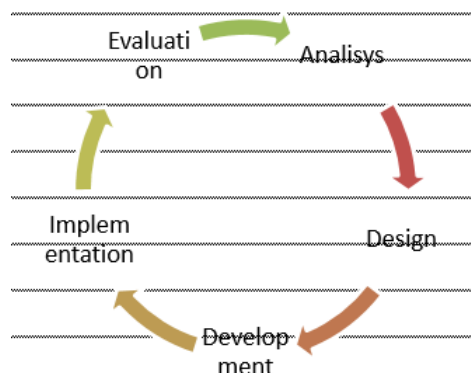
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan desain instruksional ADDIE yang terdiri dari lima tahap: Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Seperti pada gambar 1. Model ini dipilih karena bersifat sistematis, iteratif, dan fleksibel untuk mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) ke dalam pembelajaran berbasis pengalaman (experiential learning). Fokus penerapan berada pada proyek pembelajaran yang melibatkan mahasiswa dalam menganalisis proses logistik UKM dengan pendekatan circular supply chain (Salinas-Navarro et al. 2024).

Analysis (Analisis Kebutuhan)

Tahap ini dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, kompetensi yang ingin dicapai, serta konteks belajar yang akan digunakan. Langkah-langkahnya meliputi:

1. Studi kurikulum: Mata kuliah yang relevan seperti Supply Chain Management, Sustainability in Operations, atau Engineering Project Planning dianalisis untuk memastikan integrasi topik IoT dan circular economy.
2. Identifikasi kebutuhan industri: Wawancara dengan UKM mitra dilakukan untuk memahami tantangan nyata yang mereka hadapi terkait efisiensi logistik, limbah operasional, dan potensi pemanfaatan data real-time.
3. Profil mahasiswa: Analisis kesiapan mahasiswa dalam hal kemampuan teknologi, pemahaman dasar supply chain, dan pengalaman lapangan dilakukan melalui kuesioner dan diskusi kelas.
4. Hasil dari tahap ini menetapkan bahwa mahasiswa membutuhkan pengalaman belajar yang bersifat langsung, kolaboratif, dan menggunakan perangkat digital sederhana untuk menghadapi kompleksitas nyata supply chain UKM.



Gambar 1 : Metode ADDIE

Design (Perancangan Pembelajaran)

Berdasarkan temuan tahap analisis, tahap desain menyusun kerangka kerja pembelajaran dengan komponen-komponen berikut:

1. Tujuan Pembelajaran: Mahasiswa mampu memetakan alur logistik UKM. Mahasiswa dapat mengoperasikan perangkat IoT sederhana untuk mengumpulkan data operasional. Mahasiswa dapat menganalisis dan menyusun strategi circular supply chain untuk mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi.
2. Strategi Instruksional: Model pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning) digunakan untuk memandu mahasiswa bekerja dalam tim. Siklus pembelajaran Kolb diterapkan: pengalaman langsung (pengamatan UKM dan alat IoT), refleksi, generalisasi konsep, dan penerapan solusi.
3. Perangkat Pendukung: IoT kit sederhana seperti Arduino/ESP32 dengan sensor suhu, kelembaban, deteksi gerak, serta modul Wi-Fi untuk pengumpulan data logistik.
4. Platform visualisasi data seperti Google Sheets, Grafana, atau dashboard berbasis Python.

Development (Pengembangan Sumber Daya dan Alat Bantu)

Tahapan ini mengembangkan seluruh media dan materi ajar yang dibutuhkan, yaitu:

1. Modul pelatihan IoT: Mahasiswa dilatih menghubungkan sensor ke mikrokontroler, mengalirkan data ke cloud, dan menampilkan data dalam bentuk grafik.
2. Tugas praktikum disiapkan untuk mengenalkan pengambilan data konsumsi energi, suhu ruang produksi, frekuensi pergerakan barang, dan estimasi waktu idle.
3. Template analisis supply chain: Mahasiswa diberikan template pemetaan alur proses logistik (berbasis SCOR model), dan formulir observasi lapangan.
4. Skenario UKM: Tiga hingga lima UKM mitra dari sektor makanan, manufaktur ringan, dan distribusi logistik ditentukan sebagai objek studi. Setiap tim mahasiswa melakukan studi kasus terhadap salah satu UKM.

Implementation (Implementasi di Lapangan)

Proses implementasi dilakukan dalam satu semester perkuliahan:

1. Tahap 1: Observasi Lapangan. Mahasiswa melakukan kunjungan ke UKM, memetakan alur supply chain, mengidentifikasi titik limbah, bottleneck, dan aktivitas yang tidak bernilai tambah (non-value-added).
2. Tahap 2: Pemasangan dan Penggunaan IoT. Mahasiswa memasang perangkat sensor di area-area strategis (misalnya: cold storage, mesin produksi, ruang pengemasan). Data dikumpulkan selama 5–7 hari untuk mengetahui pola aktivitas operasional.
3. Tahap 3: Analisis Circular Supply Chain. Berdasarkan data sensor dan observasi, mahasiswa mengembangkan solusi seperti pengaturan ulang jadwal pengiriman, pemanfaatan kembali bahan limbah, atau pengurangan konsumsi energi. Analisis dilakukan menggunakan spreadsheet dan perangkat lunak ringan berbasis data.
4. Tahap 4: Presentasi Solusi. Mahasiswa menyusun laporan dan mempresentasikan hasil temuannya di hadapan dosen, UKM, dan rekan mahasiswa.

Evaluation (Evaluasi Proses dan Hasil Belajar)

Evaluasi dilakukan dalam dua tingkat:

1. Evaluasi Formatif. Dilakukan secara berkala selama proses seperti:

- a. review mingguan terhadap log buku mahasiswa, Refleksi individu terhadap penggunaan alat IoT dan data yang diperoleh.
- b. Umpan balik dari UKM atas interaksi dan saran mahasiswa.
2. Evaluasi Sumatif. Dilakukan di akhir proyek untuk mengukur pencapaian:
 - a. Penilaian proyek: Kualitas analisis data, solusi circular supply chain, dan efektivitas presentasi.
 - b. Penilaian sikap profesional: Kolaborasi tim, komunikasi dengan mitra UKM, dan tanggung jawab terhadap alat dan data.
 - c. Survei kepuasan mahasiswa terhadap model pembelajaran, peran teknologi, dan pengalaman langsung di lapangan.

Melalui pendekatan ADDIE, penelitian ini secara sistematis mengintegrasikan IoT dalam pembelajaran berbasis proyek untuk meningkatkan literasi teknologi, kemampuan berpikir sistemik, dan kesadaran keberlanjutan mahasiswa. Metodologi ini bukan hanya menyajikan inovasi pembelajaran, tetapi juga menjembatani kolaborasi antara dunia akademik dan sektor industri kecil secara bermakna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Kompetensi Mahasiswa melalui Integrasi IoT dan ADDIE

Implementasi pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan ADDIE dan dukungan teknologi IoT menunjukkan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kompetensi mahasiswa. Evaluasi sumatif terhadap 48 mahasiswa menunjukkan bahwa:

1. 92% mahasiswa mampu memetakan alur logistik dan mengidentifikasi titik pemborosan dalam sistem supply chain UKM.
2. 85% berhasil mengoperasikan dan menginterpretasikan data dari sensor IoT secara mandiri.
3. 88% menyatakan bahwa pengalaman ini sangat relevan dan kontekstual terhadap tantangan industri saat ini.

Hasil ini menguatkan efektivitas tahapan ADDIE, khususnya pada fase *design* dan *development*, yang secara cermat menyelaraskan kebutuhan pembelajaran dengan tantangan lapangan. Pembelajaran tidak lagi bersifat teoritis, tetapi menjadi pengalaman transformatif berbasis data nyata dan keterlibatan langsung.

Solusi Mahasiswa terhadap Masalah Rantai Pasok UKM

Mahasiswa bekerja dalam tim untuk menyelesaikan proyek berbasis data IoT yang diperoleh dari UKM mitra. Hasil proyek antara lain:

1. Optimalisasi pengemasan ulang di UKM makanan ringan berhasil mengurangi biaya kemasan hingga 28%.
2. Reduksi waktu idle mesin melalui sensor gerak menghasilkan proyeksi peningkatan produktivitas sebesar 17%.
3. Pemanfaatan limbah organik seperti ampas kopi menjadi produk baru (sabun alami), membuka peluang diversifikasi usaha.

Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu berpikir sistemik, mengaitkan data sensor dengan efisiensi operasional dan keberlanjutan. Mereka tidak hanya belajar IoT sebagai alat, tetapi sebagai instrumen strategis dalam pemecahan masalah logistik dan lingkungan secara nyata.

Literasi Digital, Analitik, dan Soft Skills Mahasiswa

Proses belajar berbasis IoT turut memperkuat kemampuan literasi digital mahasiswa. Mereka belajar menghubungkan data suhu, kelembaban, dan frekuensi pergerakan barang dengan perilaku operasional UKM. Hal ini menciptakan keterampilan analitik yang lebih tajam, serta kesiapan untuk menghadapi tantangan industri berbasis data (data-driven environment).

Dari aspek soft skills, mahasiswa mengalami peningkatan dalam:

1. Kolaborasi dan komunikasi tim (terlihat dalam 96.8/100 nilai rata-rata presentasi).
2. Pemikiran kritis dan pemecahan masalah berbasis kondisi lapangan.
3. Adaptabilitas dan empati terhadap pelaku UKM, yang kerap bekerja dalam keterbatasan teknologi dan kapasitas.

Manfaat bagi UKM dan Dampak Kontekstual Pembelajaran

Dari 5 UKM mitra, seluruhnya memberikan umpan balik positif terhadap keterlibatan mahasiswa. Mereka mengakui bahwa mahasiswa memberikan sudut pandang baru berbasis teknologi dan analitik,

yang selama ini sulit mereka akses. Beberapa UKM menyatakan berniat menerapkan sebagian rekomendasi mahasiswa karena terbukti memberikan potensi efisiensi dan pengurangan limbah. Interaksi ini membuktikan pentingnya *experiential learning* dalam menciptakan pendidikan yang relevan dan berorientasi solusi nyata. Mahasiswa menjadi agen transformasi, sementara UKM menjadi mitra pembelajaran yang memperkaya konteks dan kompleksitas proyek.

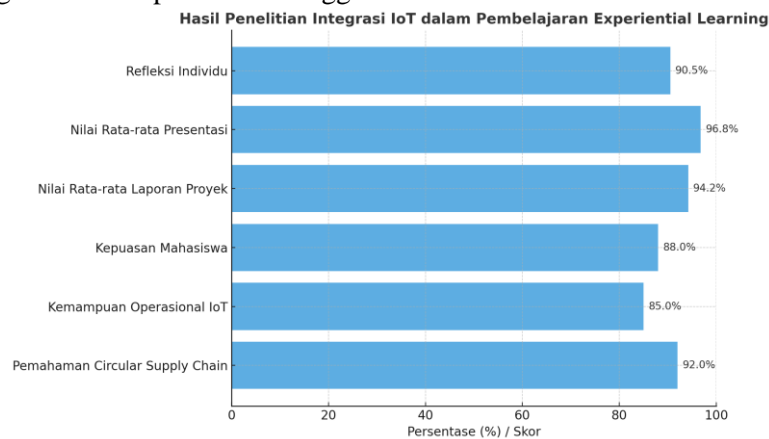
Tantangan Implementasi dan Solusi Perbaikan

Meskipun capaian akademik dan dampak sosial tinggi, beberapa tantangan teknis dan operasional tetap ditemukan:

1. **Kesiapan teknis mahasiswa:** Tidak semua mahasiswa akrab dengan perangkat IoT pada awal program.
2. **Keterbatasan logistik dan waktu di UKM:** Pembatasan jam kunjungan memengaruhi durasi pengambilan data sensor.
3. **Kebutuhan pendampingan intensif:** Program ini menuntut keterlibatan aktif dari dosen dan tim teknis secara berkelanjutan.
4. Solusi perbaikan ke depan meliputi:
5. Workshop awal tentang pemrograman dan sensor dasar sebelum fase implementasi.
6. Kolaborasi dengan UKM yang telah memiliki kesiapan digital minimal.
7. Pengembangan *digital twin* atau simulasi IoT bagi mahasiswa yang tidak dapat melakukan kunjungan lapangan.

Gabungan hasil dan pembahasan ini menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis ADDIE dengan integrasi IoT tidak hanya meningkatkan capaian akademik mahasiswa, tetapi juga menghasilkan solusi untuk UKM, mendorong keberlanjutan, serta menjembatani kesenjangan antara dunia pendidikan dan kebutuhan industri.

Gambar 2 menunjukkan hasil penelitian tentang pencapaian mahasiswa selama pembelajaran berbasis IoT. Presentasi dan laporan proyek mahasiswa mendapatkan nilai rata-rata di atas 94%. Pemahaman konsep circular supply chain dan keterampilan penggunaan perangkat IoT juga tinggi. Grafik ini mendukung kesimpulan bahwa pendekatan experiential learning berbasis ADDIE dengan dukungan IoT sangat efektif di pendidikan tinggi.



Gambar 2 : Hasil Penelitian Penerapan Metode ADDIE

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi Internet of Things (IoT) ke dalam pembelajaran berbasis proyek dengan pendekatan desain instruksional ADDIE meningkatkan kualitas pendidikan tinggi, terutama dalam kompetensi teknik dan manajemen rantai pasok mahasiswa. Mahasiswa memahami konsep circular supply chain dan menerapkan sensor IoT untuk data operasional UKM. Evaluasi menunjukkan hasil tinggi dalam kognitif, teknis, dan keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi, pemikiran kritis, dan komunikasi profesional. Pendekatan ini juga memberikan rekomendasi efisiensi dan inovasi keberlanjutan bagi UKM mitra, membuktikan model pendidikan transformatif yang menjembatani dunia akademik dan industri kecil. Penelitian ini memiliki implikasi bagi berbagai pemangku kepentingan. Bagi institusi pendidikan tinggi, temuan ini menunjukkan kebutuhan untuk mendesain ulang kurikulum agar lebih terhubung dengan dunia nyata melalui integrasi experiential

learning berbasis teknologi. Perguruan tinggi dapat memperluas peran mereka sebagai lembaga pendidikan dan fasilitator inovasi serta pemberdayaan masyarakat. Bagi mahasiswa, pendekatan ini membantu kesiapan mereka dalam menghadapi dunia kerja yang semakin terdigitalisasi dan membutuhkan keterampilan praktis berbasis data. Selain itu, bagi sektor UKM, penelitian ini menunjukkan bahwa kolaborasi dengan institusi pendidikan dapat membuka akses terhadap teknologi dan solusi, khususnya dalam konteks efisiensi dan keberlanjutan. Bagi pembuat kebijakan, model ini memberikan dasar untuk mendorong sinergi pendidikan–industri–masyarakat dalam mewujudkan transformasi digital dan pembangunan ekonomi berbasis pengetahuan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa institusi pendidikan harus mengintegrasikan pembelajaran berbasis proyek dan teknologi IoT ke dalam kurikulum, terutama di bidang teknik, bisnis, dan manajemen operasional. Mereka juga perlu bermitra dengan UKM untuk memastikan relevansi proyek, menyediakan pelatihan bagi dosen dalam IoT dan metode aktif, serta membangun infrastruktur pendukung seperti laboratorium mini dan platform data cloud. UKM disarankan untuk terbuka terhadap kolaborasi dengan mahasiswa dan dosen, mengadopsi teknologi seperti sensor suhu dan pelacakan waktu untuk meningkatkan efisiensi produksi, serta terlibat aktif dalam evaluasi dan implementasi solusi. Pemerintah daerah dan lembaga kebijakan sebaiknya membentuk forum kolaboratif untuk mempertemukan akademisi dan UKM dalam inkubator inovasi atau konsorsium industri kampus. Langkah-langkah ini akan memperkuat sinergi antara pendidikan dan industri lokal untuk mendukung transformasi ekonomi digital yang inklusif dan berkelanjutan.

REFERENSI

- Ang, David S., Tom Griffin, Jane Goodson, and Johnny Ho. 2010. "Enterprise Systems Education through Supply Chain Management." *Contemporary Management Research* 6(1):3–10. doi: 10.7903/cmr.2666.
- Astuti, Putu Hesti Mardika, I. Gede Margunayasa, and I. Made Suarjana. 2019. "Pengembangan Perangkat Pembelajaran Kolaboratif Pada Mata Pelajaran Matematika Topik Kubus Dan Balok." *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar* 3(3). doi: 10.23887/jisd.v3i3.18331.
- Fan, Weixing, and Zhifeng Li. 2024. "Evaluation of Comprehensive Early Warning for Higher Education Institutions' Cloud Model of Simulated Enterprise Management Cockpit." *PLoS ONE* 19(6 June):1–29. doi: 10.1371/journal.pone.0305652.
- Al Harrasi, Nasser, Mohamed Salah El Din, Masengu Reason, Badriya Al Balushi, and Jouhara Al Habsi. 2023. "Knowledge and Skills Gap of Graduates Entry-Level: Perception of Logistics and Supply Chain Managers in Oman." *Higher Education, Skills and Work-Based Learning* 13(6):1269–85. doi: 10.1108/HESWBL-11-2022-0240.
- Malhotra, Parushi, Yashwant Singh, Pooja Anand, Deep Kumar Bangotra, Pradeep Kumar Singh, and Wei Chiang Hong. 2021. "Internet of Things: Evolution, Concerns and Security Challenges." *Sensors* 21(5):1–35. doi: 10.3390/s21051809.
- Mercer, Theresa G., Andrew P. Kythreotis, Zoe P. Robinson, Terje Stolte, Sharon M. George, and Stephanie K. Haywood. 2017. "The Use of Educational Game Design and Play in Higher Education to Influence Sustainable Behaviour." *International Journal of Sustainability in Higher Education*. doi: 10.1108/IJSHE-03-2015-0064.
- Salinas-Navarro, David Ernesto, Jaime Alberto Palma-Mendoza, and Eliseo Vilalta-Perdomo. 2024. "Integrating Circular Supply Chains into Experiential Learning: Enhancing Learning Experiences in Higher Education." *Sustainability (Switzerland)* 16(23):1–24. doi: 10.3390/su162310789.
- Shahroom, Aida Aryani, and Norhayati Hussin. 2018. "Industrial Revolution 4.0 and Education." *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. doi: 10.6007/ijarbss/v8-i9/4593.
- Zhamanov, Azamat, Seong Moo Yoo, Zhulduz Sakhievva, and Meirambek Zhaparov. 2018. "Implementation and Evaluation of Flipped Classroom as IoT Element into Learning Process of Computer Network Education." *International Journal of Information and Communication Technology Education*. doi: 10.4018/IJICTE.2018040103.