

PELATIHAN INTERNET OF THINGS BERBASIS STEM UNTUK PENGEMBANGAN KOMPETENSI DIGITAL SISWA DAN GURU SMA

Nada Syifa Qolbiyah^{1*}, Istiqomah², Fiky Yosef Suratman³, Teguh Patriananda⁴,
Tsanja Puspa Kirana⁵, Garry Nelson⁶, Nurlina Sari⁷
^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia
nadasyifaqolbiyah@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Transformasi pendidikan di era Revolusi Industri 4.0 menekankan pentingnya literasi digital dan penerapan teknologi berbasis STEM di tingkat sekolah menengah, namun ketimpangan literasi teknologi di kalangan guru dan siswa masih menjadi hambatan utama. Sebagai jawaban atas tantangan tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa pelatihan sistem Internet of Things (IoT) berbasis STEM dilaksanakan di SMA Islam Al-Ma'soem, Kabupaten Bandung, sebagai bentuk dukungan peningkatan kompetensi digital di lingkungan pendidikan. Metode pelatihan terdiri dari empat tahap, yaitu persiapan, pelatihan, pendampingan, dan evaluasi, dengan melibatkan 20 siswa dan 2 guru. Evaluasi dilakukan dengan metode pengisian kuesioner Likert untuk beberapa cakupan penilaian. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep dasar IoT, keterampilan teknis peserta dalam perancangan sistem, serta keterkaitan materi dengan pembelajaran STEM; lebih dari 85% peserta menyatakan puas terhadap pelatihan. Pelatihan ini terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi digital sekaligus menumbuhkan minat eksplorasi teknologi, serta dapat dijadikan sebagai model replikatif untuk mendorong peningkatan literasi digital di sekolah menengah lainnya.

Kata Kunci: IoT; Sensor Ultrasonik; Project-Based Learning.

Abstract: Educational transformation in the Industrial Revolution 4.0 era emphasizes the importance of digital literacy and the application of STEM-based technology at the secondary school level, but the gap in technological literacy among teachers and students is still a major obstacle. As an answer to this challenge, community service activities in the form of STEM-based Internet of Things (IoT) system training were carried out at Al-Ma'soem Islamic High School, Bandung Regency, as a form of support for increasing digital competence in the educational environment. The training method consists of four stages, namely preparation, training, mentoring, and evaluation, involving 20 students and 2 teachers. The evaluation was conducted using a Likert-scale questionnaire method covering several assessment areas. The results showed a significant increase in understanding the basic concepts of IoT, participants' technical skills in system design, and the relevance of the material to STEM learning; more than 85% of participants expressed satisfaction with the training. This training has proven effective in increasing digital competence while fostering interest in exploring technology and can be used as a replicable model to encourage increased digital literacy in other secondary schools.

Keywords: IoT; Ultrasonic Sensors; Project-Based Learning.



Article History:

Received: 03-07-2025
Revised : 21-07-2025
Accepted: 22-07-2025
Online : 01-08-2025



This is an open access article under the
CC-BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Keahlian digital yang homogen pada tingkat sekolah menengah menjadi tuntutan perubahan orientasi pendidikan di zaman Revolusi Industri 4.0 (Blanc et al., 2025; González, 2022). Hasil evaluasi sistem pendidikan di berbagai negara menyiratkan bahwa implementasi sains dalam kerangka digital masih menjadi persoalan bagi sebagian besar siswa tingkat sekolah menengah. Hal tersebut menjadi sebuah indikasi ketimpangan literasi teknologi di ruang kelas dunia (OECD, 2023). Pentingnya kapabilitas guru dalam keberhasilan pengembangan mutu pembelajaran dengan adopsi teknologi, termasuk *Internet of Things* (IoT), dikonfirmasi UNESCO melalui *AI Competency Framework for Teachers* (UNESCO, 2024). Dalam tinjauan makro, 44% kompetensi pekerja global diprediksi berubah secara signifikan dalam lima tahun mendatang dengan literasi teknologi sebagai kompetensi yang tumbuh paling pesat (*World Economic Forum*, 2019). Secara ringkas, peningkatan literasi digital pada jenjang sekolah menengah tidak hanya menjunjung realisasi akademik, tetapi juga kesiapan ekonomi di masa mendatang.

Kerangka global yang sama tercermin umumnya di daerah sub-urban Indonesia. Bagi kebanyakan sekolah menengah, minimnya pendampingan dan kesediaan fasilitas menjadi faktor terhambatnya penerapan keterampilan digital berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) (Imaduddin & Firdaus, 2025; Istiqomah et al., 2023, 2024; Widodo & Akbar, 2024). SMA Islam Al-Ma'soem, salah satu sekolah menengah atas yang terletak di Kabupaten Bandung, adalah satu dari banyak contoh sekolah menengah yang masih kesulitan dalam mengimplementasikan keterampilan serupa. Rendahnya tingkat pemahaman yang komprehensif akan literasi digital serta minimnya pengalaman praktikal sebagian besar guru menjadi salah satu penyebab utama terhambatnya penerapan keterampilan digital di kelas. Sebagai implikasi dari permasalahan tersebut, kecakapan digital siswa tidak terfasilitasi dengan baik. Bahkan kegiatan ekstrakurikuler robotika yang mengedepankan sains dan teknologi harus terhenti karena minimnya pendampingan. Ketimpangan ini menghambat implementasi kurikulum digital yang menekankan diferensiasi dan *Project-Based Learning*.

Sejumlah studi yang relevan menggarisbawahi efektivitas pelatihan IoT dalam meningkatkan pendekatan pembelajaran berbasis STEM (Anselmo et al., 2021; Liu et al., 2024). Pelatihan *blended IoT–Artificial Intelligence* (AI) dan keikutsertaan guru dalam komunitas pembelajaran profesional digital terbukti dapat meningkatkan keterampilan serta memperbesar peluang integrasi teknologi STEM di kelas (Al-Pansori et al., 2025; Olatunbosun & Uzundu, 2024; Thanh et al., 2025; Yu & Chao, 2023). Beberapa program pengabdian di dalam negeri pun tercatat sukses meningkatkan keterampilan IoT praktis siswa (Ahyadi et al., 2024; Siallagan et al., 2025; Wardani et al., 2025). Bukti tersebut menegaskan relevansi pelatihan IoT terstruktur bagi

guru dan siswa guna pembelajaran berbasis STEM yang lebih kontekstual. Hal ini sejalan dengan arah kebijakan nasional yang menargetkan peningkatan kecakapan digital pelajar SMA/SMK melalui pelatihan tematik. Di sisi lain, kurikulum merdeka mengutamakan fleksibilitas, pembelajaran berdiferensiasi, dan *Project-Based Learning* sebagai strategi utama peningkatan kualitas belajar (Al-Pansori et al., 2025; Rohmah et al., 2024). Kedua kebijakan tersebut menjadi landasan normatif bagi pelatihan IoT berbasis STEM di SMA.

Meninjau hal tersebut, kegiatan pelatihan sistem IoT berbasis STEM dengan tema “Pengukuran Jarak menggunakan Sensor Ultrasonik dengan Mikrokontroler ESP32” diusulkan menjadi program pengabdian kepada masyarakat sebagai salah satu bentuk dukungan pengembangan kompetensi digital guru dan siswa SMA. Sebagai bagian dari pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi, universitas memiliki tanggungjawab untuk mentransfer hasil penelitian melalui kegiatan pengabdian. Melalui kemitraan universitas dan sekolah, dosen tidak hanya memenuhi kewajiban akademik, tetapi juga mendorong inovasi pembelajaran di sekolah mitra, membentuk ekosistem pengetahuan yang selaras dengan konsep *triple helix* (pemerintah–universitas–sekolah). Tema kegiatan pengabdian ini dipilih berdasarkan relevansinya dengan konsep sains dan sejalan dengan skema *inquiry–design–build–share* dalam *project-based learning* (Portillo-Blanco et al., 2025; Sangpom & Sangpom, 2025).

Sebagai tambahan, pendekatan STEM dalam pengajaran konsep IoT dan AI untuk siswa SMA seperti melalui penerapan alat pendeteksi kualitas udara yang dirakit dan dimodelkan langsung oleh siswa (Lee, Wei-Ling and Hu, Chiu-Fan and Wu, 2024) memberikan contoh konkret bagaimana proyek berbasis perangkat keras dan perangkat lunak dapat memperkuat hasil pembelajaran serta mendukung model pengabdian serupa. Pendekatan *Investigative Science Learning Environment* (ISLE) dalam pembelajaran sains Hamid et al. (2022) turut memperkuat relevansi program pengabdian ini, khususnya dalam konteks pendidikan vokasi dan inovasi di sekolah. Selain itu, proyek pengembangan modul IoT untuk pembelajaran berbasis inkuiri dalam STEM, seperti “*Smart Schoolhouse*” menunjukkan efektivitas kolaborasi antara universitas, sekolah, dan perangkat IoT dalam meningkatkan kompetensi digital serta keterampilan teknologi siswa (Kusmin, 2019).

Maka dari itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini selain bertujuan untuk meningkatkan kompetensi digital guru dan siswa SMA dalam merancang serta memrogram perangkat IoT sederhana berbasis STEM, juga untuk membangun ekosistem pembelajaran IoT yang berkelanjutan, serta menghasilkan model pelatihan replikatif bagi institusi pendidikan menengah lain guna mendukung agenda literasi digital nasional.

B. METODE PELAKSANAAN

Pelatihan IoT berbasis STEM untuk pengembangan kompetensi digital dilaksanakan bersama masyarakat sasaran yaitu 20 siswa dan 2 guru SMA Islam Al-Ma'soem. Sekolah semi-boarding yang terletak di Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat ini berkomitmen meningkatkan literasi digital meskipun minimnya pendampingan praktis dalam pemanfaatan proyek teknologi berbasis STEM di dalam pembelajaran masih menjadi kendala. Merespon kebutuhan tersebut, pendekatan *community development* dalam skema *triple helix* menjadi solusi yang lebih implementatif dan berkelanjutan untuk menjembatani permasalahan yang dihadapi masyarakat sasaran. Secara praktis, pelatihan IoT berbasis STEM dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Pelatihan IoT berbasis STEM

Pada tahap persiapan, survei kebutuhan secara langsung dilaksanakan terlebih dahulu untuk pemetaan tingkat pemahaman guru dan siswa terkait IoT serta kebutuhan pembelajaran STEM. Temuan survei ini menjadi dasar penyusunan modul pelatihan yang memuat teori dasar IoT, prinsip kerja sensor ultrasonik, dan panduan praktis perancangan serta pemrograman perangkat. Seluruh perlengkapan, meliputi sensor ultrasonik, mikrokontroler ESP32, dan komponen pendukung lain disediakan oleh tim pengabdian masyarakat guna memastikan kelancaran pelatihan.

2. Pelatihan IoT berbasis STEM

Penyampaian materi dasar yang relevan dengan pelatihan menginisiasi tahap inti pelatihan IoT berbasis STEM. Konsep dasar IoT dan prinsip kerja sensor ultrasonik untuk berbagai aplikasi, khususnya pengukuran jarak, diperkenalkan kepada guru dan siswa. Selain itu, diberikan juga pemahaman terkait konfigurasi dasar mikrokontroler ESP32 dan cara menghubungkannya ke *Blynk Cloud* untuk menampilkan data pengukuran jarak secara *real-time* pada aplikasi *Blynk* yang diikuti dengan demonstrasinya. Dengan demikian, kombinasi antara teori dan demonstrasi sistem ini dapat membuka wawasan guru dan siswa tentang bagaimana sains dan teknologi diintegrasikan ke dalam aplikasi dunia nyata. Terlebih, sebagai salah satu bentuk meningkatkan pemahaman konsep STEM dengan praktis dan interaktif juga terintegrasi dengan pembelajaran.

3. Pendampingan Pembuatan IoT berbasis STEM

Penyampaian materi kemudian diikuti dengan implementasi prototipe oleh guru dan siswa, didampingi oleh tim pengabdian masyarakat. Dibagi ke dalam beberapa kelompok kecil yang terdiri dari 3 hingga 4 anggota, guru dan siswa dipandu dan didampingi untuk mengikuti tahapan-tahapan pembuatan sistem IoT yang didemonstrasikan oleh instruktur tim pengabdian masyarakat. Pembagian kelompok dilakukan agar setiap guru

dan siswa dapat terlibat secara aktif dalam pembuatan sistem IoT, sehingga mendapat pemahaman yang lebih baik.

4. Evaluasi Hasil Pelatihan IoT berbasis STEM

Tahap evaluasi dilakukan dengan metode pengisian kuesioner Likert 5 poin oleh masyarakat sasaran. Cakupan yang diukur adalah penyampaian materi dan jalannya pelatihan, keterkaitan pelatihan dengan pembelajaran STEM, serta dampak dan penerapan pelatihan terhadap integrasi pembelajaran STEM. Setiap cakupan terdiri dari empat indikator pertanyaan yang relevan. Hasil evaluasi kemudian menjadi tolak ukur awal keberhasilan pelaksanaan pelatihan IoT berbasis STEM di SMA.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pelatihan IoT berbasis STEM untuk pengembangan kompetensi digital untuk guru dan siswa yang dilaksanakan di SMA Islam Al-Ma'soem dievaluasi secara runut berdasarkan tahapan metode pelaksanaan. Data kuantitatif dan bukti visual disajikan untuk setiap tahapannya, kemudian didiskusikan dengan mengaitkan tujuan kegiatan dan penelitian terdahulu. Dengan kerangka ini, keterkaitan antara tahap pelaksanaan dan dampak yang dicapai oleh kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dapat tergambarkan secara jelas.

1. Hasil Penggambaran Awal Pelatihan IoT Berbasis STEM

Pelatihan IoT berbasis STEM untuk pengembangan kompetensi digital siswa dan guru SMA Islam Al-Ma'soem diawali dengan menggali pengetahuan umum terkait IoT dalam bentuk komunikasi tanya jawab terbuka oleh tim pengabdian masyarakat kepada guru dan siswa seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengenalan Pelatihan IoT

Penelusuran awal sangat penting dilakukan sebagai rujukan kedalaman materi yang akan disampaikan. Hasil observasi menunjukkan hanya 20% guru dan siswa peserta pelatihan yang sudah cukup familiar dengan IoT beserta aplikasinya di kehidupan sehari-hari. Dinyatakan juga oleh guru dan siswa bahwa ekstrakurikuler robotika, yang erat kaitannya dengan IoT, terpaksa dihentikan karena minimnya pendampingan dari guru dengan keterampilan tersebut. Oleh karena itu, seluruh guru dan siswa yang

mengikuti pelatihan sangat berminat mengikuti pelatihan IoT berbasis STEM ini dengan harapan dapat menambah pengalaman secara langsung dalam memahami lebih jauh dan mengimplementasikan IoT dalam kehidupan sehari-hari. Terlebih lagi, dapat membenahi kendala yang selama ini dialami, baik itu di ranah ekstrakurikuler maupun pembelajaran di kelas.

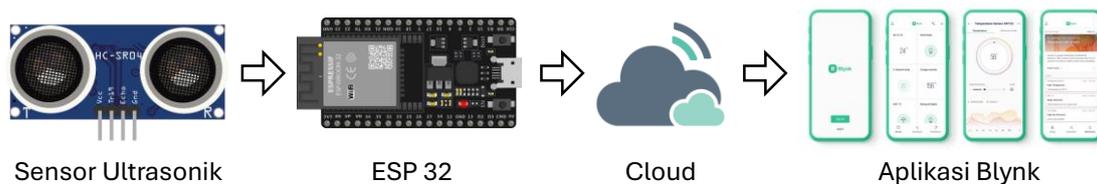
2. Hasil Pelatihan dan Pendampingan Pembuatan IoT berbasis STEM

Pelatihan dan pendampingan dilaksanakan dalam satu hari yang sama dengan total durasi selama 3 jam. Sesi pertama dilakukan pemaparan materi konsep dasar mengenai IoT dan aplikasinya, sensor ultrasonik, mikrokontroler ESP32, serta aplikasi *Blynk* oleh tim pengabdian masyarakat seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penjelasan materi diikuti dengan demonstrasi pembuatan sistem IoT secara runut dan bertahap mengacu pada modul yang telah disediakan.



Gambar 2. Pemaparan Materi Pelatihan dan Demonstrasi IoT

Keseluruhan sistem IoT untuk pengukuran jarak dengan sensor ultrasonik dan aplikasi Blynk diilustrasikan oleh diagram blok pada Gambar 3. Diagram blok sistem IoT untuk pengukuran jarak ini tidak hanya memberikan gambaran alur kerja sistem secara keseluruhan, tetapi juga mempermudah pemahaman masyarakat sasaran terhadap alur interaksi setiap bagian komponen yang digunakan.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem IoT untuk Pengukuran Jarak

Pelatihan ini tidak hanya menyajikan pemaparan teori, tetapi juga mendorong partisipasi aktif peserta dalam praktik perakitan, pemrograman, dan pengujian sistem monitoring jarak secara real-time. Peserta mampu memahami cara kerja sensor ultrasonik untuk pengukuran jarak, mengintegrasikannya dengan mikrokontroler ESP32, serta

menghubungkannya ke cloud melalui aplikasi Blynk untuk visualisasi data. Antusiasme peserta terlihat dari keterlibatannya secara aktif dalam sesi praktik dan diskusi. Beberapa kelompok peserta bahkan mampu menyelesaikan proyek mini IoT secara mandiri, termasuk modifikasi tampilan antarmuka dan pengujian sistem monitoring.

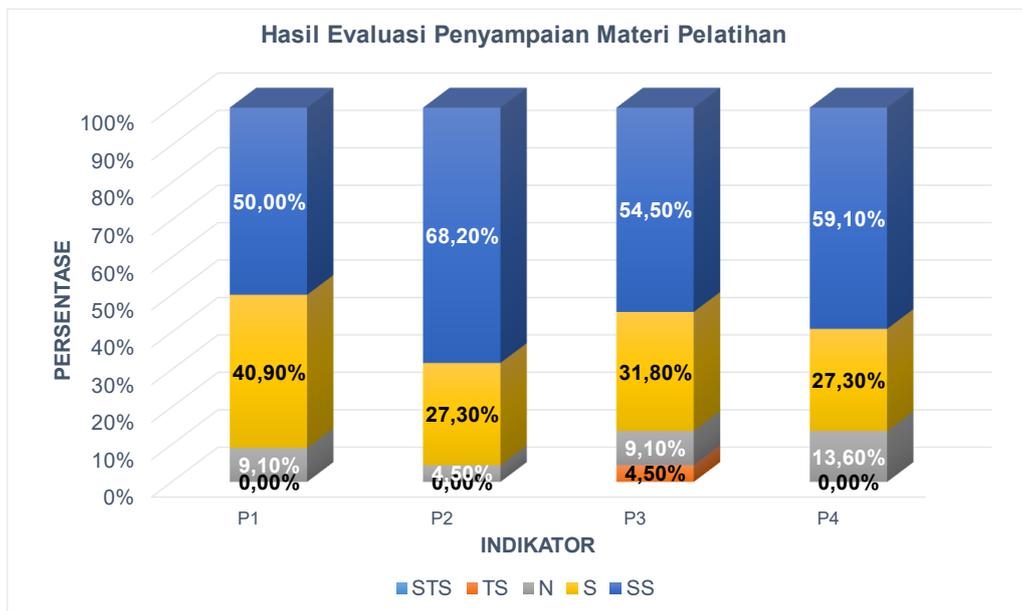
3. Hasil Evaluasi Pelatihan IoT berbasis STEM

Evaluasi pelatihan IoT berbasis STEM yang dilakukan menggunakan metode pengisian kuesioner Likert dengan rentang 0 – 5 untuk beberapa cakupan penilaian. Nilai 0 untuk penilaian sangat tidak setuju (STS), sedangkan nilai 5 untuk penilaian sangat setuju (SS). Adapun indikator pertanyaan untuk setiap cakupannya tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Cakupan Penilaian dan Indikator Pertanyaan

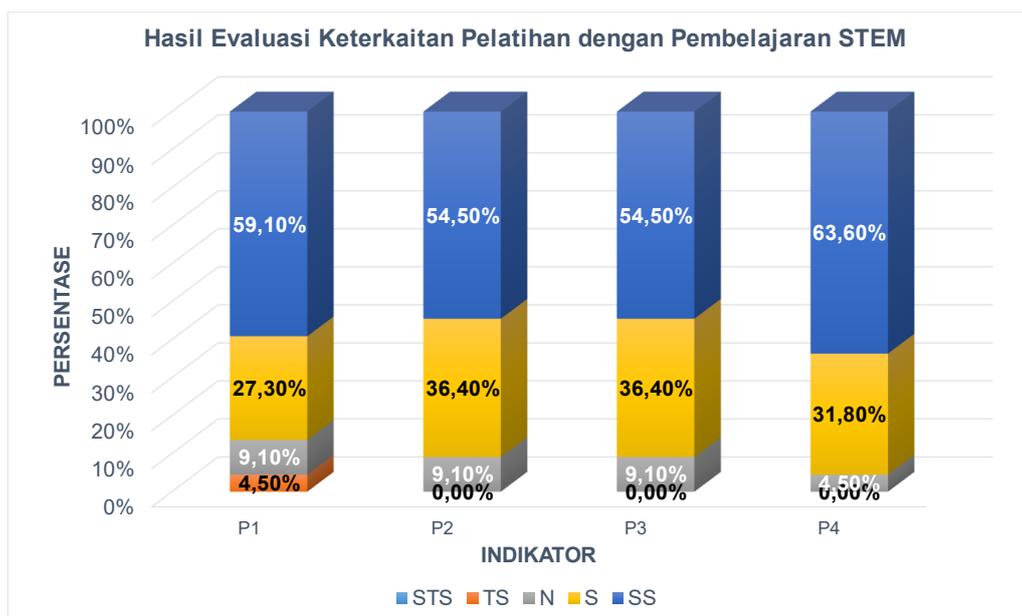
Cakupan Penilaian	Indikator Pertanyaan
Penyampaian Materi dan Jalannya Pelatihan	Materi pelatihan mudah dipahami [P1]
	Instruktur menjelaskan materi dengan jelas [P2]
	Modul pelatihan sangat membantu proses belajar [P3]
Keterkaitan Pelatihan dengan Pembelajaran STEM	Waktu pelatihan sudah cukup untuk memahami materi [P4]
	Pelatihan ini membuat konsep fisika (misalnya gelombang suara, kecepatan, waktu tempuh) lebih mudah dipahami [P1]
	Saya dapat memahami cara kerja sistem IoT yang digunakan dalam pelatihan [P2]
	Saya merasa terbantu memahami sistem keseluruhan dengan praktik langsung menggunakan ESP32 dan sensor ultrasonik [P3]
Dampak dan Penerapan Pelatihan	Pelatihan ini mencerminkan penerapan konsep STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) dalam pembelajaran [P4]
	Pelatihan ini menunjukkan integrasi konsep STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) dalam proses belajar [P1]
	Saya mampu mengaplikasikan pengetahuan ini dalam kehidupan sehari-hari maupun di lingkungan sekolah [P2]
	Pelatihan ini membangkitkan minat saya untuk mempelajari STEM lebih lanjut [P3]

Hasil evaluasi untuk penyampaian materi dan jalannya pelatihan ditunjukkan dalam Gambar 4. Statistik menyatakan bahwa lebih dari 50% peserta pelatihan memberikan rating sangat setuju dan 30% lainnya menilai setuju untuk seluruh indikator penilaian. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diartikan bahwa dari sisi penyampaian materi dan jalannya pelatihan sudah sangat baik. Meski demikian, 4,50% peserta masih menganggap modul pelatihan belum begitu membantu proses belajar. Oleh karena itu, perbaikan modul dengan struktur yang lebih mudah dimengerti dan mudah diikuti sangat diperlukan sebagai langkah peningkatan kualitas modul kedepannya.



Gambar 4. Hasil Evaluasi Penyampaian Materi Pelatihan

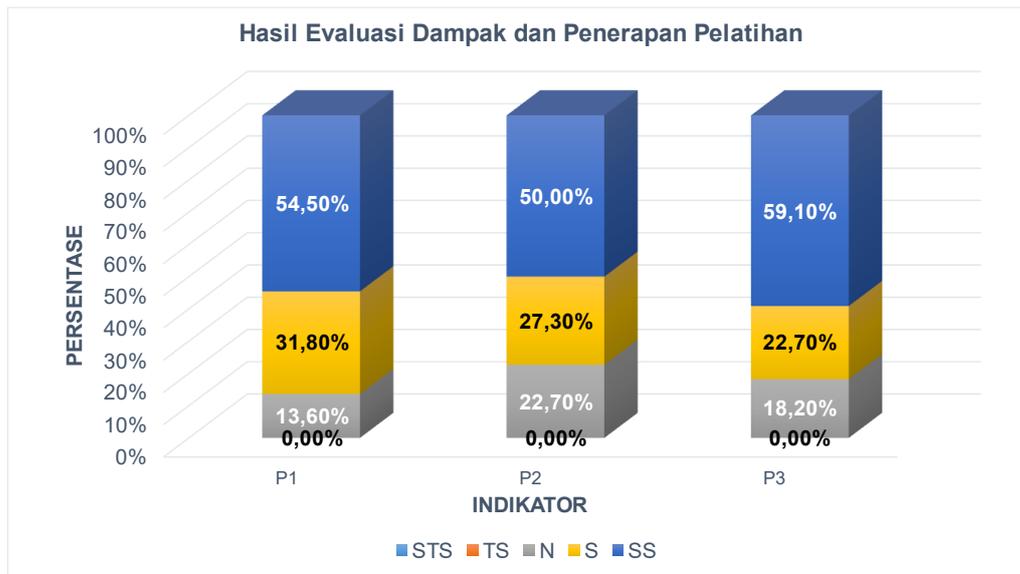
Kepuasan peserta berdasarkan tinjauan keterkaitan pelatihan dengan pembelajaran STEM serta tinjauan dampak dan penerapan pelatihan menunjukkan lebih dari 85% peserta pelatihan setuju dan sangat setuju bahwa pelatihan IoT ini dapat menunjang pembelajaran berbasis STEM di kelas seperti direpresentasikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Evaluasi Keterkaitan Pelatihan dengan Pembelajaran STEM

Guru dan siswa mendapat gambaran yang lebih aktual terhadap aplikasi IoT dalam kegiatan sehari-hari. Sehingga, ilmu dan pengalaman yang didapatkan selama pelatihan juga dapat diimplementasikan pada pembelajaran di dalam kelas. Dengan demikian, kemampuan digital guru dapat meningkat dan perkembangan kemampuan digital siswanya pun bisa terfasilitasi dengan baik. Terlebih, dengan terbukanya wawasan siswa

setelah mengikuti pelatihan IoT dan efektifitas pendampingan oleh guru, minat siswa untuk mempelajari STEM pun akan meningkat.



Gambar 6. Hasil Evaluasi Dampak dan Penerapan Pelatihan

D. SIMPULAN DAN SARAN

Pelatihan IoT berbasis STEM untuk pengembangan kompetensi digital guru dan siswa SMA direalisasikan dengan mengakuisisi struktur pematerian – demonstrasi – pendampingan. Pelatihan yang dilaksanakan terbukti efektif meningkatkan kompetensi digital guru dan siswa SMA Al-Ma'soem. Hasil pelatihan menunjukkan rerata jumlah guru dan siswa yang menilai puas dan sangat puas dalam pemahaman konsep IoT dan kemampuan mengimplementasikannya dalam kasus sederhana adalah sebesar $\pm 85\%$. Secara keseluruhan, kegiatan ini tidak hanya meningkatkan literasi digital siswa dan guru, tetapi juga menumbuhkan semangat eksplorasi dan inovasi dalam bidang teknologi. Diharapkan, kegiatan serupa dapat menjadi program berkelanjutan serta menghasilkan model pelatihan replikatif bagi institusi pendidikan menengah lain guna mendukung agenda literasi digital nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdian masyarakat mengucapkan terima kasih kepada Telkom University yang telah mendanai kegiatan pengabdian ini, serta kepada Kepala Sekolah beserta Guru SMA Islam Al-Ma'soem yang telah memfasilitasi tim pengabdian masyarakat Telkom University sehingga kegiatan pelatihan berjalan dengan sangat baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahyadi, Z., Noor, I., & Yuliani, H. (2024). Pelatihan Dasar IoT untuk Siswa SMKN 2 Banjarbaru. *Jurnal Impact: Implementation and Action*, 6(2), 60–68.
- Al-Pansori, Muh. J., Mohzana, M., & Pransisca, M. A. (2025). Revolutionizing Indonesian Language Learning: The Effectiveness of Kurikulum Merdeka at SMP Negeri 2 Selong. *IJE: Interdisciplinary Journal of Education*, 3(1), 48–61. <https://doi.org/10.61277/ije.v3i1.192>
- Anselmo Fortoul-Diaz, J., Cortes-Santacruz, F., Perez-Rojas, D., Torres-Rios, E., & Antonio Carrillo-Martinez, L. (2021). Project-Based Learning Using Internet of Things as an Educational Tool in COVID 19 Era with a Hybrid Context for Engineering Students. *ACM International Conference Proceeding Series*, 111–117. <https://doi.org/10.1145/3510309.3510327>
- Blanc, S., Conchado, A., Benloch-Dualde, J. V., Monteiro, A., & Grindei, L. (2025). Digital competence development in schools: a study on the association of problem-solving with autonomy and digital attitudes. *International Journal of STEM Education*, 12(1), Article 13. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00534-6>
- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3), Article 1493.
- Hamid, A., Syukri, M., Halim, A., & Irwansyah, I. (2022). Development of Internet of Things Based Learning Media Through STEM Investigative Science Learning Environment Approach to Improve Student Learning Outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(4), 1985–1992. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i4.1634>
- Imaduddin, F., & Firdaus, M. (2025). Bridging the Digital Divide: Theoretical Perspectives on ICT Integration in Indonesian Education Policy. *International Journal Of Education, Social Studies, And Management (IJESSM)*, 5(2), 895–908. <https://doi.org/10.52121/ijessm.v5i2.806>
- Istiqomah, I., Aziz, A. A., Rizal, A., Bahrudin, M. F., Soediponegoro, S., Azriansyah, A., Abas, A. I., & Salman, M. Y. (2023). Pemenuhan Kebutuhan Media Pembelajaran Di Sekolah Alam Dengan Mengimplementasikan Sistem Pemantauan Kolom Ikan Di Beberapa Titik Berbasis IoT. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(4), 3749. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i4.16318>
- Istiqomah, I., Aziz, A. A., Rizal, A., Bahrudin, M. F., Soediponegoro, S., Azriansyah, A., Sundawa, N. W., Isnaini, A. N., & Antu, V. A. F. (2024). Penerapan Panel Surya Sebagai Media Pembelajaran Energi Terbaharukan Dan Energi Listrik Tambahan Di Sekolah Alam Gaharu. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(2), 1704. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i2.21562>
- Kusmin, M. (2019). Co-Designing the Kits of IoT Devices for Inquiry-Based Learning in STEM. *Technologies*, 7(1), 16. <https://doi.org/10.3390/technologies7010016>
- Lee, Wei-Ling and Hu, Chiu-Fan and Wu, C.-C. (2024). A STEM Approach to Teach High School Students IoT and AI Concepts: An Air Quality Example. *Innovation and Technology in Computer Science Education*, 806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/3649405.3659498>
- Liu, J., Aziku, M., Qiang, F., & Zhang, B. (2024). Leveraging professional learning communities in linking digital professional development and instructional integration: evidence from 16,072 STEM teachers. *International Journal of STEM Education*, 11(1), Article 5. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00513-3>
- OECD. (2023). Pisa 2022 Results. In *Factsheets: Vol. I*. https://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2022-results-volume-i_53f23881-

en%0Ahttps://www.oecd.org/publication/pisa-2022-results/country-notes/germany-1a2cf137/

- Olatunbosun Bartholomew Joseph, & Nwankwo Charles Uzundu. (2024). Integrating AI and Machine Learning in STEM education: Challenges and opportunities. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(8), 1732–1750. <https://doi.org/10.51594/csitrj.v5i8.1379>
- Portillo-Blanco, A., Guisasola, J., & Zuza, K. (2025). Integrated STEM education: addressing theoretical ambiguities and practical applications. *Frontiers in Education*, 10(April), 1–14. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1568885>
- Rohmah, Z., Hamamah, H., Junining, E., Ilma, A., & Rochastuti, L. A. (2024). Schools' support in the implementation of the Emancipated Curriculum in secondary schools in Indonesia. *Cogent Education*, 11(1), Article 2300182. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2300182>
- Sangpom, N., & Sangpom, W. (2025). Project-Based Learning Combined with Inquiry-Based Learning Using Solver Tools to Promote Computational Thinking Among Undergraduate Students. *TEM Journal*, 14(1), 602–611. <https://doi.org/10.18421/TEM141-53>
- Siallagan, D., Rambe, B. M., Santoso, A. I., & Eriyanto, J. (2025). Pemahaman Dan Peningkatan Teknologi Internet Of Thing (IoT) Bagi Siswa SMK Yapim Bandar Perdagangan Kabupaten Simalungun. *Gudang Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 315–319.
- Thanh, H. Le, Van, H. T., Viet, H. P., Tran, Q., Thanh, H. N., Duy, B. D., & Duc, M. T. (2025). Integrating AI and IoT into STEM teacher training: A case study of secondary education in Vietnam. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 9(4), 2439–2458. <https://doi.org/10.55214/25768484.v9i4.6583>
- UNESCO. (2024). *Mission Statement of the UNESCO Creative Cities Network (UCCN)*. February.
- Wardani, K. R. N., Fitriani, E., Mukti, A. R., Makmuri, M. K., & Ariyadi, T. (2025). Edukasi Internet of Things (IoT) sebagai upaya pengenalan teknologi digital pada siswa SMK. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 3(3), 1143–1153. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v3i3.2366>
- Widodo, Y. B., & Akbar, K. F. (2024). Effectiveness of Technology Use in Indonesian High Schools: Student Engagement, School Capacity, Teacher Performance. *International Journal of Business, Law, and Education*, 5(1), 615–627. <https://doi.org/10.56442/ijble.v5i1.442>
- World Economic Forum. (2019). Future of Jobs Report 2023. In *World Economic Forum*. World Economic Forum. <https://doi.org/10.1142/11458>
- Yu, T. K., & Chao, C. M. (2023). Encouraging teacher participation in Professional Learning Communities: exploring the Facilitating or restricting factors that Influence collaborative activities. *Education and Information Technologies*, 28(5), 5779–5804. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11376-y>