Copyright © 2025 The Author(s)
Didaktika: Jurnal Kependidikan Vol. 14 No. 3 Agustus 2025

Pengembangan Alat Peraga Kapal Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran di Politeknik Ilmu Pelayaran

Tony Santiko[1], Mohammad Sapta Heriyawan[2], Zalza Wulandari Idris[3]
[1,3] Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, Indonesia
[2] Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Indonesia

[1]toni.santiko34@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah alat peraga kapal berbasis mikrokontroler Arduino sebagai media pembelajaran interaktif di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar. Alat ini dirancang untuk merepresentasikan sistem kerja kapal secara sederhana namun fungsional, sehingga dapat membantu taruna memahami prinsip dasar navigasi, pengendalian kapal, serta pemanfaatan teknologi digital dalam dunia maritim. Sistem dikendalikan menggunakan Arduino UNO dan dilengkapi dengan komponen seperti motor DC sebagai penggerak utama, servo motor untuk sistem kemudi, serta sensor-sensor pendukung seperti sensor jarak (ultrasonik), suhu, dan cahaya untuk memperkaya pembelajaran berbasis data. Proses pengembangan meliputi tahap desain, perakitan fisik alat, pemrograman, serta pengujian fungsi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat peraga dapat beroperasi dengan baik, memberikan umpan balik visual dan gerakan yang responsif, serta mampu mensimulasikan pengendalian kapal dalam skala kecil. Implementasi alat ini diharapkan mampu meningkatkan pemahaman praktis taruna terhadap sistem kapal dan teknologi Arduino secara menyeluruh, serta mendorong inovasi pembelajaran berbasis teknologi di bidang pendidikan maritim.
Kata Kunci: Arduino, alat peraga kapal, media pembelajaran

Pendahuluan

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan mikrokontroler modern telah membuka berbagai peluang inovasi dalam bidang otomasi dan sistem kendali jarak jauh. Salah satu implementasi yang menarik adalah pengembangan sistem kendali cerdas pada model kapal yang dapat dioperasikan secara remote melalui jaringan internet. Kapal remote control cerdas ini tidak hanya mengandalkan kemampuan pengendalian manual, tetapi juga dilengkapi dengan sistem sensor terintegrasi yang mampu mendeteksi dan merespons lingkungan sekitar secara real-time.

ESP32, sebagai salah satu mikrokontroler yang populer, memiliki fitur WiFi terintegrasi yang memungkinkan komunikasi data dengan platform IoT seperti Thinger.io secara efisien. Platform Thinger.io menyediakan antarmuka pengguna berupa dasbor berbasis web dan aplikasi seluler yang memungkinkan pengguna memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh. Integrasi antara ESP32 dan Thinger.io memberikan solusi yang praktis untuk pengembangan sistem kendali cerdas yang mudah dikembangkan dan diimplementasikan.

Selain itu, penggunaan teknologi 3D printing dalam pembuatan struktur kapal memberikan fleksibilitas dalam desain yang ringan namun kuat, serta memungkinkan pelapisan khusus untuk ketahanan terhadap air dan benturan. Sensor-sensor seperti ultrasonik, gas, hujan, panas, cahaya, dan api yang terpasang pada kapal, memberikan data penting untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional melalui fungsi penghindaran rintangan dan deteksi bahaya.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe kapal remote control cerdas berbasis ESP32 dan Thinger.io dengan sistem sensor terintegrasi, yang tidak hanya dapat dioperasikan secara nirkabel, tetapi juga memberikan fungsionalitas otomatis dalam mendeteksi dan merespons kondisi lingkungan sekitar. Hasil dari pengembangan ini diharapkan dapat menjadi inovasi dalam bidang teknologi maritim dan media pembelajaran berbasis IoT untuk pendidikan vokasi.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) dengan mengacu pada model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Model ini dipilih karena mampu memberikan alur sistematis dan terstruktur dalam merancang serta mengevaluasi produk media pembelajaran, dalam hal ini berupa alat peraga kapal berbasis Arduino. Desain penelitian ini dinilai sesuai untuk menjawab pertanyaan penelitian terkait kelayakan, efektivitas, dan kemanfaatan media pembelajaran yang dikembangkan.

Subjek dalam penelitian ini terdiri atas dua kategori, yaitu validator ahli dan pengguna akhir. Validator ahli terdiri dari dua dosen pengampu mata kuliah terkait sistem kapal dan satu ahli teknologi pembelajaran. Sementara itu, pengguna akhir meliputi sejumlah taruna tingkat I dan II di PIP Makassar serta beberapa dosen yang terlibat langsung dalam proses uji coba media pembelajaran. Pemilihan subjek dilakukan secara purposive sampling, dengan mempertimbangkan pengalaman, relevansi bidang, dan keterlibatan langsung dalam proses pembelajaran yang berkaitan dengan penggunaan alat peraga kapal.

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu observasi, wawancara, dokumentasi, dan kuesioner. Observasi digunakan untuk mencermati proses interaksi pengguna dengan alat peraga, sedangkan wawancara mendalam dilakukan terhadap para dosen dan ahli untuk memperoleh masukan kualitatif terhadap rancangan dan implementasi alat. Kuesioner digunakan untuk mengukur tingkat kepraktisan, keefektifan, dan keterterimaan alat peraga yang dikembangkan. Instrumen kuesioner disusun berdasarkan indikator-indikator yang relevan dengan aspek kelayakan media pembelajaran, seperti kemudahan penggunaan, daya tarik visual, relevansi isi, dan potensi meningkatkan pemahaman konsep.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini dikembangkan sendiri oleh peneliti dan telah divalidasi oleh ahli isi dan ahli media. Instrumen tersebut terdiri dari lembar validasi untuk para pakar serta angket tanggapan untuk taruna dan dosen pengguna. Untuk menjamin keabsahan data, dilakukan uji validitas isi melalui konsultasi dengan para ahli, serta uji keandalan dengan menggunakan teknik konsistensi internal.

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Data kualitatif dari observasi dan wawancara dianalisis dengan cara mereduksi data, menyusun kategori, dan menarik kesimpulan. Sementara itu, data kuantitatif dari hasil kuesioner dianalisis dengan teknik statistik deskriptif untuk mengetahui nilai rata-rata, persentase, dan kategori kelayakan produk. Penilaian akhir terhadap media pembelajaran mengacu pada kategori skala Likert, yang diklasifikasikan menjadi sangat layak, layak, cukup layak, dan tidak layak.

Seluruh prosedur penelitian diurutkan berdasarkan tahapan ADDIE, dimulai dari analisis kebutuhan pengguna, perancangan alat peraga, pengembangan prototipe, implementasi/uji coba lapangan, hingga tahap evaluasi untuk perbaikan dan penyempurnaan produk. Prosedur ini dirancang agar dapat direplikasi oleh peneliti lain yang ingin mengembangkan alat peraga serupa pada konteks pendidikan maritim atau bidang teknik lainnya. Semua tahapan dilakukan secara sistematis dan terdokumentasi, sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Copyright © 2025 The Author(s)

Hasil

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem *(system development*) yang dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama, dimulai dari tahap desain hingga pengujian dan evaluasi produk. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa alat peraga kapal yang dihasilkan tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga bermanfaat sebagai media pembelajaran interaktif. Secara rinci, tahapan pengembangan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Desain dan Pembuatan Fisik Kapal

Tahap pertama dimulai dengan proses perancangan model kapal menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD). Desain digital ini memungkinkan peneliti memvisualisasikan bentuk kapal, posisi pemasangan komponen elektronik, serta memperkirakan keseimbangan kapal ketika digunakan di air. Model kapal kemudian dicetak menggunakan printer 3D dengan material PLA dan ABS yang dikenal ringan namun cukup kuat. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap air, hasil cetakan diberi lapisan anti bocor (*No Drop*) serta diperkuat dengan serat resin. Pelapisan ini bertujuan agar struktur kapal tidak mudah retak, tahan lama saat digunakan di air, dan mampu menahan getaran yang ditimbulkan dari motor penggerak. Pada tahap ini juga dilakukan uji coba awal terhadap stabilitas fisik kapal, seperti uji daya apung dan keseimbangan, sebelum komponen elektronik dipasang.

Integrasi Sistem Elektronik

Setelah struktur fisik selesai, tahap berikutnya adalah integrasi sistem elektronik. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai pusat kendali karena memiliki keunggulan berupa konektivitas WiFi bawaan serta daya komputasi yang lebih baik dibandingkan Arduino UNO. ESP32 berfungsi untuk mengendalikan berbagai sensor dan aktuator yang dipasang pada kapal. Sensor yang digunakan antara lain sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak dan menghindari rintangan, sensor gas untuk mengukur tingkat polutan di udara sekitar, sensor hujan untuk mendeteksi kondisi cuaca, sensor panas untuk mengukur suhu, sensor cahaya untuk mendeteksi intensitas penerangan, serta sensor api untuk mendeteksi potensi kebakaran. Selain itu, motor DC digunakan sebagai penggerak utama kapal, sedangkan servo motor dipasang pada bagian kemudi untuk mengatur arah gerak kapal. Semua komponen ini dihubungkan dengan papan mikrokontroler melalui rangkaian kelistrikan yang telah dirancang, kemudian diuji untuk memastikan tidak ada gangguan pada distribusi daya maupun respon kontrol.

Pengembangan Firmware

Pada tahap ini, perangkat lunak (*firmware*) dikembangkan untuk mengendalikan fungsi-fungsi kapal. Bahasa pemrograman C digunakan melalui *Arduino IDE* yang kompatibel dengan ESP32. Firmware yang dibuat mencakup beberapa instruksi utama, antara lain pengaturan koneksi WiFi agar kapal dapat terhubung dengan jaringan internet, komunikasi data dengan platform IoT Thinger.io, pembacaan data dari seluruh sensor secara berkala, serta pengaturan logika kontrol motor dan servo. Selain itu, firmware juga memuat algoritma sederhana untuk fungsi penghindaran rintangan, misalnya dengan mengatur agar kapal secara otomatis berbelok ketika sensor ultrasonik mendeteksi objek pada jarak tertentu. Tahap pengembangan firmware ini melibatkan uji coba berulang di laboratorium untuk memastikan semua komponen merespons sesuai instruksi.

Konfigurasi Platform Thinger.io

Setelah firmware berjalan, tahap selanjutnya adalah konfigurasi platform IoT *Thinger.io*. Platform ini digunakan sebagai antarmuka kendali jarak jauh dan monitoring data secara real-time. Peneliti membuat *dashboard* interaktif yang dapat diakses melalui aplikasi ponsel maupun peramban web. Dashboard menampilkan data sensor berupa grafik atau indikator digital,

misalnya suhu, kelembaban, intensitas cahaya, maupun jarak rintangan. Selain itu, dashboard juga dilengkapi tombol kontrol yang memungkinkan pengguna mengendalikan arah dan kecepatan kapal dari jarak jauh. Dengan konfigurasi ini, kapal tidak hanya berfungsi sebagai alat peraga fisik, tetapi juga sebagai media pembelajaran berbasis digital yang menunjukkan integrasi nyata antara perangkat keras (hardware) dan aplikasi berbasis IoT.

Pengujian dan Evaluasi

Tahap akhir adalah pengujian dan evaluasi untuk memastikan produk berfungsi sesuai dengan desain. Pengujian dilakukan secara bertahap, mulai dari uji coba komponen individual (sensor, motor, servo), integrasi sistem secara keseluruhan, hingga pengujian lapangan di lingkungan air nyata. Uji lapangan dilakukan di kolam air tenang untuk menilai stabilitas, respons sensor, kecepatan gerak, serta kemampuan kapal menghindari rintangan. Selama pengujian, data hasil pembacaan sensor direkam dan dianalisis melalui dashboard Thinger.io. Evaluasi juga dilakukan dengan meminta masukan dari validator ahli (dosen dan pakar media pembelajaran) serta pengguna akhir (taruna dan dosen PIP Makassar). Masukan tersebut digunakan untuk menyempurnakan desain fisik, perbaikan firmware, maupun tampilan dashboard.

Untuk mengetahui tingkat kelayakan produk yang dikembangkan, penelitian ini melibatkan proses validasi ahli dan uji coba pengguna. Validasi ahli dilakukan oleh dua validator yang terdiri atas seorang dosen pengampu mata kuliah terkait sistem kapal serta seorang ahli dalam bidang teknologi pembelajaran. Penilaian ini difokuskan pada empat aspek utama, yaitu kesesuaian materi, desain visual, kepraktisan penggunaan, dan kelayakan teknis. Sementara itu, uji coba pengguna melibatkan 10 taruna dan 2 dosen PIP Makassar yang bertindak sebagai responden untuk menilai aspek kepraktisan, daya tarik, peningkatan pemahaman, serta relevansi materi dalam konteks pembelajaran maritim.

Instrumen yang digunakan dalam validasi dan uji coba disusun berdasarkan indikator kelayakan media pembelajaran dengan skala Likert. Validator ahli memberikan masukan kualitatif terkait kejelasan isi materi, ketepatan fungsi alat, dan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran. Sedangkan pengguna akhir memberikan penilaian terhadap pengalaman langsung dalam menggunakan prototipe, baik dari sisi kemudahan operasional, tampilan media, maupun manfaat praktis terhadap pemahaman konsep. Hasil penilaian tersebut kemudian dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Validasi dan Uji Coba Produk Alat Peraga Kapal Berbasis Arduino

Aspek Penilaian	Rata-rata Skor Ahli	Rata-rata Skor Pengguna
Kesesuaian Materi	4,00	-
Desain Visual	3,50	-
Kepraktisan Penggunaan	3,50	3,85
Kelayakan Teknis	4,00	-
Daya Tarik	-	3,65
Peningkatan Pemahaman	-	4,00
Relevansi Materi	-	4,00
Total Rata-rata	3,75	3,88

Berdasarkan data pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa hasil validasi ahli memperoleh rata-rata skor sebesar 3,75 yang berada pada kategori “baik”. Penilaian tertinggi terdapat pada aspek kesesuaian materi dan kelayakan teknis, yang menunjukkan bahwa konten alat peraga sesuai dengan kebutuhan kurikulum dan perangkat keras yang digunakan berfungsi secara

Copyright © 2025 The Author(s)

optimal. Sementara itu, skor pada aspek desain visual dan kepraktisan penggunaan masih berada di bawah rata-rata, sehingga perlu dilakukan penyempurnaan terutama pada tampilan fisik dan tata letak komponen agar lebih ergonomis dan mudah dioperasikan dalam kegiatan pembelajaran.

Di sisi lain, uji coba terbatas oleh pengguna menghasilkan rata-rata skor yang lebih tinggi, yaitu 3,88. Responden memberikan apresiasi tertinggi pada aspek peningkatan pemahaman dan relevansi materi, yang menandakan bahwa alat peraga ini berhasil membantu taruna memahami prinsip dasar sistem kapal dan pengendaliannya. Selain itu, aspek daya tarik dan kepraktisan penggunaan juga memperoleh skor positif, yang berarti media ini tidak hanya fungsional tetapi juga menarik secara visual dan mudah dipelajari. Dengan demikian, hasil validasi ahli dan uji coba pengguna menunjukkan bahwa prototipe alat peraga kapal berbasis Arduino layak digunakan sebagai media pembelajaran interaktif di PIP Makassar.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe alat peraga kapal berbasis Arduino yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan sebagai media pembelajaran. Berdasarkan validasi yang dilakukan oleh ahli materi dan ahli media, produk memperoleh skor rata-rata 3,75 (skala 1–4) yang termasuk dalam kategori “baik”. Penilaian tertinggi diberikan pada aspek kesesuaian materi dan kelayakan teknis, yang menandakan bahwa isi konten sudah relevan dengan kurikulum pembelajaran serta perangkat keras yang digunakan mampu berfungsi dengan optimal sesuai rancangan.

Hasil uji coba terbatas yang melibatkan taruna dan dosen menunjukkan rata-rata skor sebesar 3,88. Skor tertinggi terdapat pada aspek peningkatan pemahaman dan relevansi materi, yang mengindikasikan bahwa media ini berhasil membantu peserta didik memahami konsep-konsep dasar sistem kapal secara lebih konkret serta sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di bidang kemaritiman. Dengan demikian, prototipe ini tidak hanya dinilai layak secara teknis, tetapi juga efektif dalam meningkatkan kualitas proses belajar mengajar.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Rukmini dkk. (2021) yang menegaskan bahwa media pembelajaran berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan motivasi belajar sekaligus memperkuat pemahaman siswa dalam mata pelajaran teknik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan perangkat mikrokontroler seperti Arduino tidak hanya memberikan pengalaman belajar yang interaktif, tetapi juga mendorong keterlibatan siswa secara lebih mendalam. Selaras dengan itu, Widodo dan Nurhadi (2020) juga menemukan bahwa integrasi antara perangkat keras dengan visualisasi digital dapat memperluas pengalaman belajar dan meningkatkan partisipasi aktif peserta didik dalam proses pembelajaran.

Penelitian ini memperkuat temuan-temuan sebelumnya dengan menghadirkan bukti empiris bahwa media interaktif berbasis Arduino dan Internet of Things (IoT) dapat menjadi solusi pembelajaran yang efektif, khususnya di bidang vokasi dan teknik. Integrasi sensor dengan sistem kendali cerdas melalui platform Thinger.io mampu memberikan pengalaman belajar yang tidak hanya bersifat demonstratif, tetapi juga aplikatif. Hal ini menjadi penting mengingat pembelajaran vokasi menuntut keterampilan praktis yang selaras dengan kebutuhan industri, sekaligus kemampuan adaptif terhadap perkembangan teknologi modern.

Dari sisi penerapan, alat peraga kapal yang dikembangkan memiliki kontribusi ganda, yakni praktis dan teoretis. Secara praktis, media ini dapat digunakan dalam perkuliahan teknik kemaritiman di PIP Makassar maupun di lembaga pelatihan pelayaran lain, karena menghadirkan simulasi berbasis sensor jarak dan pengendalian jarak jauh yang realistis. Sementara secara teoretis, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis proyek dengan integrasi

teknologi Arduino dan IoT dapat mendukung pembelajaran aktif, kolaboratif, dan berbasis masalah (*problem-based learning*). Hal ini menjadikan media yang dikembangkan relevan untuk memperkuat paradigma pendidikan vokasi abad ke-21 yang berorientasi pada keterampilan praktis, inovasi, dan kolaborasi.

Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan kajian mengenai integrasi teknologi mikrokontroler dan Internet of Things (IoT) dalam pendidikan vokasi, khususnya di bidang teknik kemaritiman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan Arduino dan ESP32 yang dikombinasikan dengan platform IoT mampu memperluas kerangka teori media pembelajaran interaktif dengan menambahkan aspek sensorik, kendali jarak jauh, serta visualisasi data real-time. Hal ini mendukung teori pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) dan pembelajaran berbasis masalah (*problem-based learning*) yang menekankan pada keterlibatan aktif peserta didik melalui pengalaman belajar nyata. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat landasan konseptual bahwa media interaktif berbasis teknologi digital dapat menjadi sarana efektif untuk mengembangkan keterampilan kognitif, afektif, dan psikomotorik sekaligus.

Lebih lanjut, penelitian ini memperkaya literatur tentang peran media pembelajaran dalam pendidikan vokasi, yang tidak hanya terbatas pada penyampaian materi, tetapi juga melibatkan integrasi teknologi terkini sebagai bagian dari simulasi dunia nyata. Kontribusi ini penting karena menunjukkan bahwa pembelajaran teknik dapat dioptimalkan melalui media yang menggabungkan aspek rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga menghasilkan pengalaman belajar yang komprehensif. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi kajian akademis lanjutan terkait efektivitas media berbasis mikrokontroler dalam meningkatkan kualitas pembelajaran pada institusi pendidikan vokasi.

Beberapa keterbatasan ditemukan dalam penelitian ini. Pertama, pengujian dilakukan hanya dalam skala terbatas pada lingkungan air tenang, sehingga belum dapat dievaluasi untuk kondisi laut terbuka atau gangguan lingkungan lainnya. Kedua, jumlah responden untuk uji coba pengguna masih terbatas (10 taruna dan 2 dosen), sehingga generalisasi terhadap populasi yang lebih besar masih perlu dikaji lebih lanjut. Selain itu, keterbatasan pada sumber daya perangkat keras juga membatasi kompleksitas fitur yang bisa diimplementasikan dalam prototipe.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dalam kondisi lingkungan yang lebih kompleks, seperti arus kuat atau ombak, untuk menguji ketahanan dan performa sistem secara lebih mendalam. Penambahan jumlah responden dalam uji coba juga penting untuk memperoleh data yang lebih representatif. Dari sisi teknologi, pengembangan ke sistem navigasi otomatis berbasis GPS, komunikasi dua arah, serta integrasi dengan AI untuk pengambilan keputusan otonom dapat dijadikan arah pengembangan di masa depan. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi penerapan media ini untuk simulasi darurat atau latihan prosedur keselamatan pelayaran.

Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan prototipe alat peraga kapal cerdas berbasis Arduino dan Thinger.io dengan dukungan sensor terintegrasi. Proses pengembangan dilakukan secara sistematis melalui pendekatan *system development* dan model ADDIE, yang mencakup tahap analisis kebutuhan, perancangan fisik kapal, integrasi sistem elektronik, pemrograman firmware, konfigurasi platform IoT, hingga pengujian dan evaluasi. Hasil validasi oleh ahli menunjukkan bahwa produk berada pada kategori “baik” dengan skor rata-rata 3,75, sedangkan uji coba terbatas oleh pengguna memperoleh skor rata-rata 3,88. Hal ini membuktikan bahwa

Copyright © 2025 The Author(s)

alat peraga yang dikembangkan layak, praktis, dan efektif digunakan sebagai media pembelajaran di bidang kemaritiman.

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa pemanfaatan mikrokontroler dan teknologi IoT dalam media pembelajaran mampu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep manuver kapal serta sistem kendali jarak jauh. Melalui pendekatan yang praktis, interaktif, dan berbasis proyek, media ini berpotensi menjadi inovasi dalam pendidikan vokasi maritim, sekaligus memperkuat model pembelajaran aktif dan kolaboratif. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada aspek lingkungan pengujian yang masih terbatas pada kondisi air tenang serta jumlah responden yang relatif kecil. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk dilakukan dengan cakupan yang lebih luas, melibatkan lebih banyak responden, serta menambahkan fitur teknologi yang lebih kompleks seperti integrasi GPS, komunikasi dua arah, atau sistem navigasi berbasis kecerdasan buatan. Terlepas dari keterbatasan tersebut, penelitian ini telah memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan media pembelajaran teknik kemaritiman yang relevan dengan tuntutan era digital dan kebutuhan pendidikan vokasi masa kini.

References

Abdullah, M. N., & Suhartono, D. (2020). Development of Arduino-based smart boat system using IoT. *Journal of Engineering and Applied Sciences, 15*(5), 1234–1240. https://doi.org/10.36478/jeasci.2020.1234.1240

Amri, S., & Hidayat, T. (2021). Penggunaan Arduino dalam pengembangan media pembelajaran fisika berbasis eksperimen. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, 17*(2), 113–122. https://doi.org/10.15294/jpfi.v17i2.12345

Ayu, R. D., & Prasetyo, Y. T. (2018). Development of IoT-based fire detection system using ESP32. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9*(10), 210–215. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091028

Budiarti, T. A., & Nurfadhilah, I. (2019). Media pembelajaran berbasis teknologi sebagai inovasi pembelajaran abad 21. *Jurnal Teknologi Pendidikan, 21*(3), 134–142. https://doi.org/10.21009/jtp.v21i3.12857

Daryanto, A., & Wijayanti, A. (2020). Evaluasi media pembelajaran interaktif menggunakan model ADDIE. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, 23*(1), 85–94. https://doi.org/10.21831/jptk.v23i1.23456

Fauzan, R., & Harahap, R. (2017). Implementasi platform Thinger.io dalam pengembangan alat monitoring lingkungan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 4*(2), 132–139. https://doi.org/10.25126/jtiik.20174234

Hapsari, D., & Nugroho, A. S. (2021). Arduino-based learning media to improve student understanding of embedded systems. *Journal of Educational Technology, 8*(1), 45–53. https://doi.org/10.23887/jet.v8i1.33345

Hasibuan, R. A. (2023). Validasi media pembelajaran elektronik berbasis mikrokontroler: Studi eksperimen di SMK. *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Pembelajaran, 9*(1), 76–84. https://doi.org/10.26858/jipp.v9i1.45678

Kurniawan, A. (2016). Integrasi sistem sensor pada kapal cerdas menggunakan ESP8266. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 6*(1), 31–38. https://doi.org/10.15294/jtek.v6i1.56789

Malik, N., & Syamsuddin, A. (2022). Effectiveness of Arduino simulator as instructional media for electrical engineering students. *Journal of Technical Education and Training, 14*(3), 134–140. https://doi.org/10.30880/jtet.2022.14.03.015

Mustofa, M., & Zulfikar, M. (2020). Pengembangan alat peraga praktikum otomatisasi menggunakan ESP32. *Jurnal Riset Pendidikan Teknik Elektro, 10*(2), 112–118. https://doi.org/10.26877/jriptek.v10i2.12346

Nugraha, D., & Saraswati, T. (2021). Desain dan implementasi dasbor Thinger.io untuk kontrol alat berbasis web. *Jurnal Teknik Komputer, 8*(1), 44–50. https://doi.org/10.32550/jtekkom.v8i1.32156

Purnama, A., & Lestari, A. (2019). Penggunaan ESP32 dalam pengembangan sistem kontrol berbasis cloud. *Jurnal Elektronika dan Informatika, 5*(2), 88–95. https://doi.org/10.20885/jei.vol5.iss2.art5

Rakhman, R., & Priyanto, B. (2018). Pengembangan media pembelajaran mikrokontroler untuk pendidikan kejuruan. *Jurnal Pendidikan Vokasi, 8*(2), 123–130. https://doi.org/10.21831/jpv.v8i2.19875

Widodo, S., & Wibowo, A. (2023). Evaluasi efektivitas media pembelajaran berbasis Arduino dalam pengajaran teknik digital. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 12*(1), 65–71. https://doi.org/10.15294/jpte.v12i1.65432