Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis ATmega328 untuk Pemantauan Suhu Air Rumput Laut dengan Pendekatan STEAM

Baso Ali
Program Studi Informatika, Fakultas Teknik Komputer, Universitas Cokroaminoto Palopo, Palopo, Indonesia

Article Info
Article history:
Received Oct 13, 2025
Accepted Nov 15, 2025
Published Online Dec 30, 2025
Keywords:
Media_pembelajaran
STEAM
ATmega328
Sensor_Suhu
Budidaya Rumput Laut

ABSTRACT
Pembelajaran mikrokontroler memerlukan media yang menghubungkan konsep, perangkat fisik, pengolahan data, dan masalah autentik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran STEAM berbasis ATmega328 untuk pemantauan suhu air pada budidaya rumput laut serta menilai kebutuhan, validitas, kepraktisan, dan efektivitas awalnya. Penelitian menggunakan Research and Development yang mengacu pada Sugiyono dengan prosedur 4D: define, design, develop, dan disseminate. Data kebutuhan dikumpulkan melalui angket Likert pada tahap define; validitas diperoleh melalui expert judgment oleh tiga ahli materi, tiga ahli media, dan tiga penilai integrasi STEAM; kepraktisan dikumpulkan melalui angket setelah implementasi; sedangkan hasil belajar diperoleh melalui pretest dan posttest pada 40 mahasiswa Program Studi Informatika. Data dianalisis secara deskriptif, menggunakan persentase kelayakan, N-Gain, Shapiro-Wilk pada skor selisih, paired-samples t-test, dan Cohen's dz. Analisis kebutuhan mencapai 88,51%; validasi materi, media, dan integrasi STEAM masing-masing 90,7%, 91,9%, dan 91,6%; serta kepraktisan 89,05%. Rata-rata hasil belajar meningkat dari 52,18 menjadi 82,68 dengan N-Gain 0,643 (kategori sedang). Perbedaan pretest-posttest signifikan, $t(39)=20{,}281$; $p<0{,}001$, dengan Cohen's $dz=3{,}21$. Hasil menunjukkan media sangat valid dan sangat praktis serta berasosiasi dengan peningkatan hasil belajar. Karena desain menggunakan satu kelompok tanpa kontrol, temuan ditafsirkan sebagai bukti efektivitas awal, bukan bukti kausal yang kuat.
This is an open access under the CC-BY-SA licence

Corresponding Author:
Baso Ali,
Program Studi Informatika,
Fakultas Teknik Komputer,
Universitas Cokroaminoto Palopo, Palopo, Indonesia,
Jl. Latamacelling, Tompotika, Kec. Wara, Kota Palopo, Sulawesi Selatan 91911, Palopo, Indonesia
Email: *basoali@uncp.ac.id*

How to cite: Ali, B. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis ATmega328 untuk Pemantauan Suhu Air Rumput Laut dengan Pendekatan STEAM. *Jurnal Riset Dan Inovasi Pembelajaran*, *5*(3), 1158 – 1169. https://doi.org/10.51574/jrip.v5i3.5961

Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis ATmega328 untuk Pemantauan Suhu Air Rumput Laut dengan Pendekatan STEAM

1. Pendahuluan

Integrasi science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) semakin diarahkan pada pengalaman belajar autentik yang menghubungkan konsep, desain, artefak, dan pemecahan masalah. Tinjauan mutakhir menunjukkan bahwa kualitas integrasi STEM/STEAM ditentukan bukan oleh banyaknya disiplin yang dicantumkan, melainkan oleh keterhubungan fungsional antardisiplin melalui tugas, pemodelan, dan konteks nyata (Halawa et al., 2024; Hallström et al., 2023; McLure et al., 2022). Dalam pendidikan informatika, prinsip tersebut relevan karena pembelajaran sensor dan mikrokontroler menuntut mahasiswa menghubungkan pemrograman, perangkat fisik, data, dan keputusan berbasis bukti.

Physical computing dan maker-oriented learning memberi peluang untuk mewujudkan keterhubungan tersebut. Kajian tentang Arduino, experiential learning, dan project-based learning di pendidikan teknik menunjukkan bahwa artefak fisik dapat memperkuat keterampilan desain, problem solving, serta pemahaman hubungan teori-praktik ketika aktivitas disusun dengan tujuan, asesmen, dan umpan balik yang jelas (García-Tudela & Marín-Marín, 2023; Lavado-Anguera et al., 2024; Ramírez de Dampierre et al., 2024; Tembrevilla et al., 2024). Kajian maker terbaru juga menekankan pentingnya kolaborasi, proses desain iteratif, dan integrasi STEAM yang eksplisit (Calheiro & Greca, 2026; Davies & Seitamaa-Hakkarainen, 2025).

Konteks budidaya perairan menyediakan masalah autentik karena keputusan budidaya sangat bergantung pada parameter kualitas air. Suhu merupakan parameter yang paling sering dipantau bersama pH dan oksigen terlarut, sementara sistem sensor berbiaya rendah dan Internet of Things memperluas praktik pemantauan real-time (Flores-Iwasaki et al., 2025; Jais et al., 2024; Prapti et al., 2022; Rastegari et al., 2023; Shete et al., 2024). Literatur tersebut sekaligus menegaskan bahwa penggunaan sensor perlu disertai pemahaman kalibrasi, keterbatasan perangkat, pemeliharaan, dan interpretasi data agar pembacaan tidak diterima secara mekanis.

Pada budidaya rumput laut, temperatur berinteraksi dengan salinitas, cahaya, fase perkembangan, dan kondisi lokasi sehingga interpretasi suhu perlu mempertimbangkan konteks biologis. Studi mutakhir menunjukkan bahwa perubahan temperatur dan salinitas dapat memengaruhi pertumbuhan dan mutu karagenan, sementara kebutuhan optimum dapat berbeda antarspesies dan fase perkembangan (Mantri et al., 2024; Shalvina et al., 2022; Yang et al., 2025). Di sisi keberlanjutan, budidaya rumput laut juga terkait dengan biosekuriti, jasa lingkungan, dan kelayakan biofisik-ekonomi (Spillias et al., 2022).

Perangkat pendeteksi suhu air berbasis ATmega328 yang menjadi landasan penelitian ini sebelumnya dikembangkan sebagai alat teknis untuk pemantauan lahan rumput laut dan telah menunjukkan kemampuan membaca suhu lapangan (Ali et al., 2022). Namun, penelitian tersebut belum menempatkan perangkat sebagai media pembelajaran, belum memetakan integrasi STEAM, dan belum mengevaluasi kebutuhan, validitas, kepraktisan, maupun perubahan hasil belajar mahasiswa. Di sisi lain, kajian smart aquaculture berfokus terutama pada performa sistem monitoring, sedangkan kajian STEAM/maker lebih sering menggunakan konteks robotika atau artefak generik. Kesenjangan ini menunjukkan ruang bagi transformasi perangkat lapangan menjadi media belajar kontekstual.

Kebaruan penelitian terletak pada rekontekstualisasi perangkat ATmega328-sensor suhu menjadi media pembelajaran STEAM untuk pemantauan suhu air budidaya rumput laut. Science dioperasionalkan melalui konsep suhu dan kualitas air; Technology melalui sensor, ATmega328, LCD, dan pemrograman; Engineering melalui perakitan, pengujian, dan

pemecahan masalah; Arts melalui komunikasi visual dan tata letak; serta Mathematics melalui pengolahan dan interpretasi data suhu. Produk dievaluasi secara berlapis melalui analisis kebutuhan, validasi materi, validasi media, validasi integrasi STEAM, kepraktisan, dan perubahan hasil belajar.

Penelitian bertujuan: (1) mengidentifikasi kebutuhan mahasiswa terhadap media; (2) menentukan validitas materi, media, dan integrasi STEAM; (3) menilai kepraktisan penggunaan; dan (4) memperoleh bukti efektivitas awal berdasarkan perubahan hasil belajar. Istilah efektivitas awal digunakan secara terbatas karena pengujian dilakukan pada satu kelompok berjumlah 40 mahasiswa tanpa kelompok kontrol; oleh sebab itu, hasil inferensial diposisikan sebagai bukti adanya perubahan yang berasosiasi dengan implementasi media, bukan sebagai estimasi kausal tunggal.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang mengacu pada kerangka penelitian pengembangan Sugiyono (2022), dengan prosedur operasional model 4D: define, design, develop, dan disseminate. Model 4D dipilih karena tahapannya ringkas dan selaras dengan tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi kebutuhan, merancang media, melakukan validasi dan revisi produk, kemudian mengimplementasikannya dalam uji lapangan terbatas. Subjek uji lapangan merupakan satu kelompok pembelajaran yang terdiri atas 40 mahasiswa aktif Program Studi Informatika Universitas Cokroaminoto Palopo. Seluruh subjek mengikuti pretest, implementasi media, posttest, dan pengisian angket kepraktisan sehingga data lengkap yang dianalisis berjumlah 40. Data demografis seperti usia dan jenis kelamin tidak digunakan sebagai variabel penelitian dan tidak menjadi dasar analisis; keterbatasan karakteristik subjek ini dinyatakan pada bagian pembahasan.

Pada tahap define, data kebutuhan dikumpulkan melalui angket skala Likert 1–5 yang memuat tujuh indikator: kebutuhan media praktikum nyata, pembelajaran sensor suhu berbasis ATmega328, keterhubungan teori-praktik, konteks budidaya rumput laut, aktivitas STEAM, analisis data suhu, serta integrasi sensor-mikrokontroler. Tahap design memetakan fungsi perangkat ke lima komponen STEAM dan menyusun alur belajar dari identifikasi masalah, pengenalan perangkat, pembacaan sensor, interpretasi LCD, sampai analisis data. Tahap develop mencakup expert judgment oleh tiga ahli materi, tiga ahli media, dan tiga penilai integrasi STEAM, revisi produk berdasarkan saran validator, serta uji kepraktisan. Tahap disseminate dilakukan sebagai uji lapangan terbatas menggunakan desain one-group pretest-posttest (O1-X-O2): pretest diberikan sebelum penggunaan media, mahasiswa kemudian mengikuti aktivitas pembelajaran menggunakan media, setelah itu diberikan posttest dan angket kepraktisan.

Teknik pengumpulan data terdiri atas angket, tes, dan dokumentasi. Angket digunakan untuk analisis kebutuhan, expert judgment, dan kepraktisan; tes digunakan untuk mengukur hasil belajar sebelum dan sesudah implementasi; sedangkan dokumentasi mencakup produk media, aktivitas pembelajaran, serta dataset suhu autentik dari penelitian awal. Dataset autentik berasal dari lima titik pada Tambak 1 dan lima titik pada Tambak 2 dalam Ali et al. (2022) dan digunakan sebagai konten pembelajaran, bukan sebagai hasil pengukuran lapangan baru dalam penelitian pendidikan ini. Perangkat media terdiri atas ATmega328, sensor suhu, LCD 16x2, catu daya, dan komponen rangkaian pendukung.

Tabel 1. Integrasi STEAM dalam media pembelajaran

Komponen	Implementasi dalam media
Science	Konsep suhu, kualitas air, hubungan kondisi lingkungan dengan budidaya rumput laut, dan interpretasi fenomena.

Komponen	Implementasi dalam media
Technology	ATmega328, sensor suhu, LCD 16×2, pemrograman, dan pembacaan data digital.
Engineering	Perakitan sistem, alur input–proses–output, pengujian fungsi, kalibrasi, dan pemecahan masalah perangkat.
Arts	Keterbacaan antarmuka, tata letak komponen, komunikasi visual, dan penyajian informasi hasil pengukuran.
Mathematics	Satuan °C, perbandingan nilai, rata-rata, rentang, grafik, dan interpretasi data kuantitatif.

Instrumen dikonstruksi berdasarkan tujuan penelitian dan variabel yang diukur. Angket kebutuhan memuat tujuh indikator kebutuhan pembelajaran; lembar validasi materi menilai kesesuaian tujuan, ketepatan konsep, sistematika, relevansi STEAM, dan evaluasi; lembar validasi media menilai desain, fungsi perangkat, kemudahan penggunaan, keterbacaan tampilan, keamanan, dan kesesuaian sebagai media; lembar integrasi STEAM menilai Science, Technology, Engineering, Arts, dan Mathematics; sedangkan angket kepraktisan memuat delapan aspek penggunaan, petunjuk, tampilan, pemahaman sensor, motivasi, konteks nyata, kerja kelompok, dan analisis data suhu. Data angket dianalisis menggunakan skor rata-rata dan persentase terhadap skor maksimum. Rubrik penelitian menggunakan 81–100% sebagai kategori sangat valid/sangat praktis, 61–80% valid/praktis, 41–60% cukup, 21–40% kurang, dan <=20% tidak valid/tidak praktis.

$$P = (\Sigma \text{ skor diperoleh} / \Sigma \text{ skor maksimum}) \times 100\% \quad (1)$$

$$g = (\text{Skor posttest} - \text{Skor pretest}) / (100 - \text{Skor pretest}) \quad (2)$$

$$d^z = \text{Rata-rata selisih} / \text{SD selisih} \quad (3)$$

Peningkatan hasil belajar dianalisis dengan N-Gain; g>=0,70 dikategorikan tinggi, 0,30<=g<0,70 sedang, dan g<0,30 rendah. Sebelum uji hipotesis, normalitas diperiksa dengan Shapiro-Wilk pada skor selisih posttest-pretest karena asumsi paired-samples t-test berkaitan dengan distribusi skor perbedaan. Uji beda dilakukan pada taraf signifikansi alpha=0,05 dan ukuran perubahan dihitung menggunakan Cohen's dz dengan simpangan baku skor selisih. Karena penelitian tidak memiliki kelompok kontrol, hasil t-test dan effect size ditafsirkan sebagai bukti efektivitas awal yang berasosiasi dengan implementasi media, bukan sebagai bukti kausal yang sepenuhnya mengeliminasi ancaman validitas internal.

3. Hasil Penelitian

Hasil Tahap Define: Analisis Kebutuhan

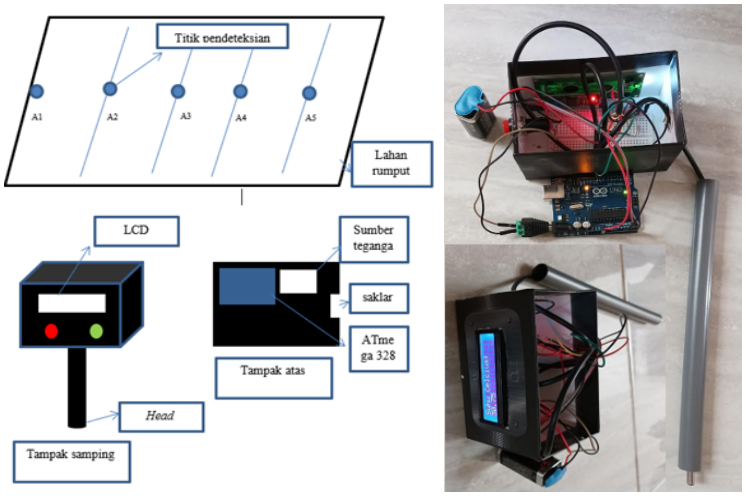
Data kebutuhan dikumpulkan dengan angket Likert 1–5 dan dianalisis menggunakan skor rata-rata serta persentase terhadap skor maksimum. Seluruh indikator berada pada kategori sangat tinggi (86,80–90,60%). Kebutuhan tertinggi terdapat pada aktivitas pembelajaran berbasis STEAM (90,60%), diikuti pembelajaran sensor suhu berbasis ATmega328 (89,60%) dan latihan membaca serta menganalisis data suhu (89,00%). Rata-rata keseluruhan mencapai 4,43 atau 88,51%.

Tabel 2. Hasil analisis kebutuhan media pembelajaran (n=40)

Indikator	Mean	Persentase (%)	Kategori
Media praktikum berbasis perangkat nyata	4,41	88,20	Sangat tinggi
Pembelajaran sensor suhu berbasis ATmega328	4,48	89,60	Sangat tinggi

Indikator	Mean	Persentase (%)	Kategori
Media yang menghubungkan teori dan praktik	4,34	86,80	Sangat tinggi
Pembelajaran kontekstual budidaya rumput laut	4,37	87,40	Sangat tinggi
Aktivitas pembelajaran berbasis STEAM	4,53	90,60	Sangat tinggi
Latihan membaca dan menganalisis data suhu	4,45	89,00	Sangat tinggi
Integrasi sensor dan mikrokontroler	4,40	88,00	Sangat tinggi
Rata-rata	4,43	88,51	Sangat tinggi

Hasil tahap design menghasilkan alur pembelajaran yang menghubungkan masalah kualitas air, fungsi sensor suhu, pemrosesan ATmega328, tampilan LCD, serta pengolahan data. Pemetaan STEAM menghasilkan lima komponen operasional sebagaimana Tabel 1 dan menjadi dasar penyusunan aktivitas praktikum.



Gambar 1. Rancangan pendeteksian dan desain alat.

Produk akhir mempertahankan sensor suhu sebagai input, ATmega328 sebagai pengolah, dan LCD 16x2 sebagai keluaran, tetapi fungsi perangkat direkontekstualisasi menjadi media pembelajaran. Mahasiswa melakukan pembacaan suhu, menelusuri aliran input-proses-output, membandingkan data antartitik, dan menginterpretasikan hasil dalam konteks budidaya rumput laut.

Hasil Tahap Develop: Validitas Materi, Media, dan Integrasi STEAM

Pengujian validitas dilakukan melalui expert judgment menggunakan lembar validasi skala 1–5. Tiga ahli materi, tiga ahli media, dan tiga penilai integrasi STEAM memberikan skor yang kemudian dikonversi menjadi persentase kelayakan. Validasi materi mencapai 90,7%, validasi media 91,9%, dan validasi integrasi STEAM 91,6%; seluruhnya berada pada kategori sangat valid. Pada integrasi STEAM, Technology memperoleh skor tertinggi 95,4%, sedangkan Arts memperoleh 87,5% dan tetap termasuk sangat valid.

Tabel 3. Ringkasan hasil validasi produk

Komponen validasi	Rata-rata (%)	Kategori
Ahli materi	90,7	Sangat valid
Ahli media	91,9	Sangat valid

Komponen validasi	Rata-rata (%)	Kategori
Integrasi STEAM	91,6	Sangat valid

Tabel 4. Validasi setiap komponen STEAM

Komponen	V1 (%)	V2 (%)	V3 (%)	Rata-rata (%)
Science	93,2	93,3	90,0	92,2
Technology	96,4	93,3	96,5	95,4
Engineering	93,3	91,0	93,3	92,5
Arts	86,7	89,0	86,7	87,5
Mathematics	90,0	91,3	90,0	90,4
Rata-rata				91,6

Berdasarkan rubrik kelayakan, seluruh komponen telah melampaui batas kategori sangat valid (>=81%). Masukan validator digunakan pada tahap develop untuk memperjelas tampilan informasi, hubungan antarkomponen, dan keterkaitan aktivitas dengan tujuan pembelajaran sebelum media diimplementasikan pada mahasiswa.

Hasil Pemanfaatan Data Suhu Autentik sebagai Konten Praktikum

Dataset suhu autentik yang digunakan sebagai konten praktikum berasal dari penelitian awal. Berdasarkan data, lima titik pada Tambak 1 berada pada rentang 31,19–31,31 °C dan lima titik pada Tambak 2 berada pada rentang 31,19–31,81 °C. Data tersebut tidak diperlakukan sebagai temuan lapangan baru, melainkan sebagai bahan untuk latihan membaca, membandingkan, memvisualisasikan, dan menafsirkan data sensor.

Tabel 5. Dataset suhu autentik yang digunakan sebagai konten praktikum

Titik	Tambak 1 (°C)	Tambak 2 (°C)	Interpretasi konteks awal
A1	31,25	31,55	Kurang sesuai
A2	31,19	31,62	Kurang sesuai
A3	31,25	31,56	Kurang sesuai
A4	31,31	31,81	Kurang sesuai
A5	31,20	31,19	Kurang sesuai

Seluruh nilai pada dataset digunakan dalam aktivitas pembelajaran untuk membandingkan variasi suhu antartitik dan menilai konteks awal kesesuaian budidaya. Posisi dataset sebagai konten pembelajaran dibedakan secara eksplisit dari data hasil belajar mahasiswa.

Hasil Kepraktisan Media

Data kepraktisan dikumpulkan melalui angket delapan aspek setelah mahasiswa menyelesaikan penggunaan media dan dianalisis dengan skor rata-rata serta persentase terhadap skor maksimum. Rata-rata kepraktisan mencapai 4,45 atau 89,05% (sangat praktis). Skor tertinggi terdapat pada motivasi mengikuti pembelajaran (91,00%), kemudahan memahami sistem sensor suhu (90,00%), dan kesesuaian dengan permasalahan nyata (89,60%).

Tabel 6. Hasil uji kepraktisan media oleh mahasiswa (n=40)

Aspek	Mean	Persentase (%)
Kemudahan penggunaan media	4,47	89,40
Kejelasan petunjuk penggunaan	4,38	87,60
Tampilan dan daya tarik media	4,42	88,40

Aspek	Mean	Persentase (%)
Kemudahan memahami sistem sensor suhu	4,50	90,00
Motivasi mengikuti pembelajaran	4,55	91,00
Kesesuaian dengan permasalahan nyata	4,48	89,60
Kemudahan kerja kelompok	4,39	87,80
Kemudahan menganalisis data suhu	4,43	88,60
Rata-rata	4,45	89,05

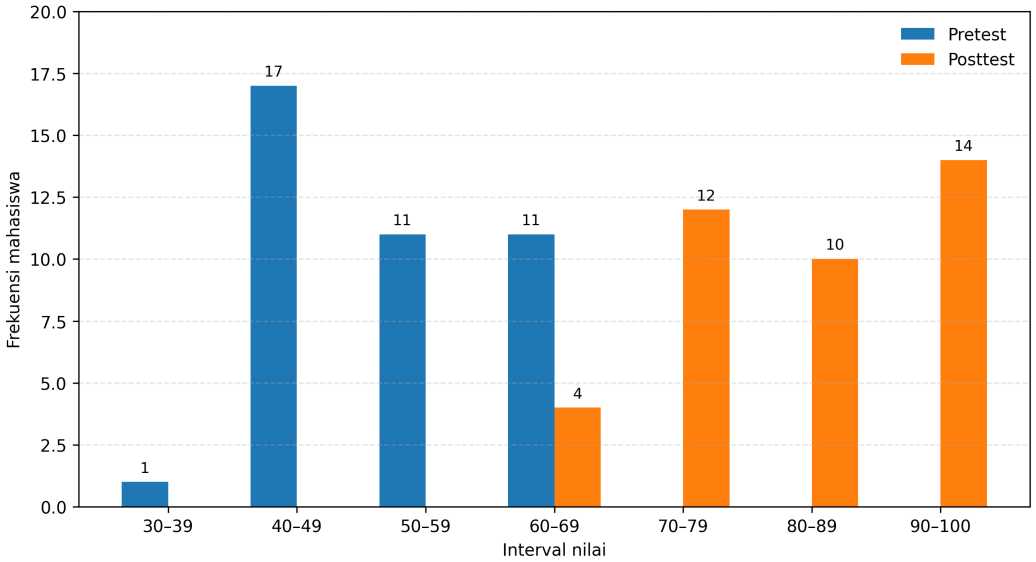
Seluruh aspek kepraktisan berada di atas 87%, menunjukkan bahwa mahasiswa menilai petunjuk, penggunaan perangkat, tampilan, kerja kelompok, dan aktivitas analisis data dapat diikuti dengan baik pada uji lapangan terbatas.

Hasil Efektivitas Awal terhadap Hasil Belajar

Hasil pretest dan posttest menunjukkan peningkatan skor. Rata-rata pretest sebesar 52,18 (SD=8,21) meningkat menjadi 82,68 (SD=9,82) pada posttest, atau bertambah 30,50 poin. N-Gain rata-rata sebesar 0,643 berada pada kategori sedang; 16 mahasiswa (40,0%) berada pada kategori tinggi dan 24 mahasiswa (60,0%) pada kategori sedang, tanpa mahasiswa pada kategori rendah.

Tabel 7. Statistik deskriptif hasil belajar dan N-Gain

Statistik	Pretest	Posttest/N-Gain
N	40	40
Minimum	35	62
Maksimum	68	96
Mean	52,18	82,68
Standar deviasi	8,21	9,82
Peningkatan rata-rata	—	30,50 poin
N-Gain rata-rata	—	0,643 (Sedang)
N-Gain tinggi	—	16 (40,0%)
N-Gain sedang	—	24 (60,0%)
N-Gain rendah	—	0 (0,0%)



Gambar 2. Distribusi frekuensi nilai pretest dan posttest

Uji Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa skor selisih posttest-pretest berdistribusi normal (W=0,981; p=0,725), sehingga asumsi utama paired-samples t-test terpenuhi. Uji berpasangan menunjukkan perbedaan signifikan antara pretest dan posttest, t(39)=20,281; p<0,001, dengan rata-rata selisih 30,50 dan 95% CI [27,46, 33,54]. Cohen's dz=3,21 menunjukkan perubahan terstandar yang sangat besar pada pasangan skor.

Tabel 8. Hasil uji normalitas, paired-samples t-test, dan effect size

Analisis	Statistik	Signifikansi/CI	Interpretasi
Shapiro-Wilk pretest	W=0,972	p=0,428	Normal
Shapiro-Wilk posttest	W=0,937	p=0,027	Tidak normal
Shapiro-Wilk selisih skor	W=0,981	p=0,725	Normal
Paired-samples t-test	t(39)=20,281	p<0,001	Signifikan
95% CI selisih	30,50	27,46–33,54	—
Cohen’s dz	3,21	—	Efek besar

Pembahsan

Kebutuhan Mahasiswa dan Rancangan Media

Hasil kebutuhan 88,51% menegaskan bahwa mahasiswa memerlukan pembelajaran yang tidak berhenti pada konsep sensor, tetapi menghubungkan perangkat, kode, data, dan konteks penggunaannya. Temuan ini konsisten dengan kajian integrated STEM/STEAM yang menekankan keterhubungan antardisiplin melalui masalah autentik dan dengan experiential learning di pendidikan teknik yang menuntut interaksi langsung antara konsep dan tindakan (Hallström et al., 2023; McLure et al., 2022; Tembrevilla et al., 2024). Karena itu, keputusan desain untuk mengubah perangkat ATmega328 menjadi media praktikum, bukan sekadar alat demonstrasi, merupakan respons langsung terhadap kebutuhan yang ditemukan pada tahap define.

Validitas Materi, Media, dan Integrasi STEAM

Validitas materi, media, dan integrasi STEAM yang seluruhnya berada di atas 90% menunjukkan kesesuaian antara konten, fungsi perangkat, serta struktur aktivitas belajar. Skor Technology yang paling tinggi menunjukkan kekuatan media pada pemrosesan sensor dan mikrokontroler, sedangkan skor Arts yang lebih rendah mengindikasikan ruang perbaikan pada komunikasi visual dan desain antarmuka. Pola ini mendukung temuan bahwa integrasi STEAM

yang bermakna memerlukan hubungan fungsional antara sains, teknologi, rekayasa, representasi, dan matematika, bukan sekadar pencantuman lima komponen secara paralel (Calheiro & Greca, 2026; Davies & Seitamaa-Hakkarainen, 2025; Halawa et al., 2024).

Kepraktisan Media

Kepraktisan 89,05% menunjukkan bahwa media dapat digunakan dengan hambatan operasional yang relatif rendah pada uji lapangan. Motivasi, kemudahan memahami sensor, dan relevansi masalah nyata menjadi aspek dengan skor tertinggi. Temuan tersebut sejalan dengan pembelajaran proyek dan maker yang menempatkan artefak nyata sebagai sarana untuk mengembangkan desain, kolaborasi, dan pemecahan masalah, terutama ketika tujuan tugas dan umpan balik dibuat jelas (Beneroso & Robinson, 2022; Lavado-Anguera et al., 2024; Weng et al., 2022; Wu & Chang, 2023).

Efektivitas Awal terhadap Hasil Belajar

Peningkatan skor, N-Gain 0,643, dan Cohen's dz 3,21 menunjukkan adanya perubahan hasil belajar yang kuat setelah implementasi media. N-Gain sedang dan effect size sangat besar tidak saling bertentangan karena N-Gain membandingkan peningkatan dengan peluang skor maksimum yang masih tersedia, sedangkan dz menstandarkan selisih terhadap variasi skor perbedaan. Temuan ini mendukung literatur yang menunjukkan bahwa pembelajaran STEM, experiential learning, dan aktivitas proyek dapat meningkatkan capaian belajar ketika mahasiswa mengonstruksi, menguji, dan merefleksikan artefak nyata (Doulougeri et al., 2024; Ramírez de Dampierre et al., 2024; Tembrevilla et al., 2024; Wang et al., 2022). Meskipun demikian, desain one-group pretest-posttest tidak mampu mengeliminasi pengaruh pengulangan tes, maturasi, atau pengalaman belajar lain; karena itu, hasil ini diposisikan sebagai efektivitas awal dan tidak digunakan untuk menyimpulkan hubungan kausal tunggal.

Konteks Pemantauan Suhu Air dan Keterbatasan Penelitian

Konteks budidaya rumput laut memperkuat autentisitas media karena suhu merupakan parameter penting dalam monitoring kualitas air. Kajian smart aquaculture menunjukkan bahwa sensor dan IoT dapat meningkatkan ketersediaan data real-time, tetapi akurasi, kalibrasi, pemeliharaan, dan kondisi lapangan tetap menjadi tantangan utama (Flores-Iwasaki et al., 2025; Jais et al., 2024; Prapti et al., 2022; Rastegari et al., 2023; Shete et al., 2024). Pada rumput laut, interpretasi suhu juga dipengaruhi spesies, fase perkembangan, salinitas, dan kondisi ekologi (Mantri et al., 2024; Shalvina et al., 2022; Yang et al., 2025). Keterbatasan penelitian ini adalah penggunaan satu kelompok dari satu program studi, tidak tersedianya karakteristik demografis rinci sebagai variabel analisis, serta penggunaan dataset suhu lapangan dari penelitian terdahulu sebagai konten praktikum. Oleh sebab itu, generalisasi perlu dilakukan secara hati-hati dan studi berikutnya perlu menggunakan kelompok kontrol, melibatkan lebih dari satu kelas atau institusi, mengukur retensi, serta memperoleh data sensor baru dari kondisi budidaya yang beragam.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan media pembelajaran STEAM berbasis ATmega328 untuk pemantauan suhu air pada budidaya rumput laut melalui prosedur 4D. Hasil define menunjukkan kebutuhan mahasiswa yang sangat tinggi terhadap media praktikum kontekstual; tahap develop menunjukkan materi, media, dan integrasi STEAM sangat valid; dan implementasi menunjukkan media sangat praktis digunakan. Hasil belajar meningkat dari rata-rata 52,18 menjadi 82,68 dengan N-Gain 0,643, dan paired-samples t-test menunjukkan perbedaan signifikan dengan effect size yang sangat besar. Secara substantif, media berhasil menghubungkan konsep suhu dan kualitas air dengan sensor, mikrokontroler, rekayasa sistem, komunikasi visual, serta analisis data dalam satu konteks autentik. Namun, simpulan efektivitas dibatasi oleh desain one-group pretest-posttest tanpa kelompok kontrol, subjek yang berasal dari satu program studi, tidak tersedianya karakteristik demografis rinci sebagai variabel

analisis, dan penggunaan dataset suhu lapangan dari penelitian terdahulu sebagai konten praktikum. Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian lanjutan perlu menggunakan kelompok kontrol, sampel lintas kelas atau institusi, pengukuran retensi dan transfer belajar, serta dataset sensor baru dari beberapa kondisi budidaya untuk menguji generalisasi dan kekuatan kausal hasil.

5. Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

6. Kontribusi Penulis

B.A. melakukan 100% kontribusi penelitian yang mencakup konseptualisasi, pengembangan media, penyusunan metodologi, pengumpulan dan analisis data, interpretasi hasil, penulisan naskah, serta persetujuan versi akhir.

7. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang mendukung hasil penelitian ini dapat disediakan oleh penulis koresponden, B.A., atas permintaan yang wajar

DAFTAR PUSTAKA

Ali, B., Karsa, I. P. K., & Rosman, A. (2022). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Suhu Air Pada Lahan Rumput Laut Berbasis Atmega 328. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, *8*(1).

Beneroso, D., & Robinson, J. (2022). Online project-based learning in engineering design: Supporting the acquisition of design skills. *Education for Chemical Engineers*, *38*, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.09.002

Calheiro, L. B., & Greca, I. M. (2026). Which Maker and STEAM integration styles stand out in education? A systematic review of pedagogical practices in teacher education. *International Journal of Technology and Design Education*, *36*(2), 951–981. https://doi.org/10.1007/s10798-025-10017-y

Davies, S., & Seitamaa-Hakkarainen, P. (2025). Research on K-12 maker education in the early 2020s – a systematic literature review. *International Journal of Technology and Design Education*, *35*(2), 763–788. https://doi.org/10.1007/s10798-024-09921-6

Doulougeri, K., Vermunt, J. D., Bombaerts, G., & Bots, M. (2024). Challenge-based learning implementation in engineering education: A systematic literature review. *Journal of Engineering Education*, *113*(4), 1076–1106. https://doi.org/10.1002/jee.20588

Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zabarburú, R. C., & Guerrero-Abad, J. C. (2025). Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *AgriEngineering*, *7*(3), 78. https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078

García-Tudela, P. A., & Marín-Marín, J.-A. (2023). Use of Arduino in Primary Education: A Systematic Review. *Education Sciences*, *13*(2), 134. https://doi.org/10.3390/educsci13020134

Halawa, S., Lin, T.-C., & Hsu, Y.-S. (2024). Exploring instructional design in K-12 STEM education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, *11*(1), 43. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00503-5

Hallström, J., Norström, P., & Schönborn, K. J. (2023). Authentic STEM education through modelling: An international Delphi study. *International Journal of STEM Education*, *10*(1), 62. https://doi.org/10.1186/s40594-023-00453-4

Jais, N. A. M., Abdullah, A. F., Kassim, M. S. M., Karim, M. M. A., M, A., & Muhadi, N.

‘Atirah. (2024). Improved accuracy in IoT-Based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. *Heliyon*, *10*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29022

Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P.-J., & Terrón-López, M.-J. (2024). Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature. *Education Sciences*, *14*(6), 617. https://doi.org/10.3390/educsci14060617

Mantri, V. A., Munisamy, S., & Kambey, C. S. B. (2024). Biosecurity aspects in commercial *Kappaphycus alvarezii* farming industry: An India case study. *Aquaculture Reports*, *35*, 101930. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101930

McLure, F. I., Tang, K.-S., & Williams, P. J. (2022). What do integrated STEM projects look like in middle school and high school classrooms? A systematic literature review of empirical studies of iSTEM projects. *International Journal of STEM Education*, *9*(1), 73. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00390-8

Prapti, D. R., Mohamed Shariff, A. R., Che Man, H., Ramli, N. M., Perumal, T., & Shariff, M. (2022). Internet of Things (IoT)-based aquaculture: An overview of IoT application on water quality monitoring. *Reviews in Aquaculture*, *14*(2), 979–992. https://doi.org/10.1111/raq.12637

Ramírez de Dampierre, M., Gaya-López, M. C., & Lara-Bercial, P. J. (2024). Evaluation of the Implementation of Project-Based-Learning in Engineering Programs: A Review of the Literature. *Education Sciences*, *14*(10), 1107. https://doi.org/10.3390/educsci14101107

Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, *4*, 100187. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187

Shalvina, A., De Ramon N’Yeurt, A., Lako, J., & Piovano, S. (2022). Effects of selected environmental conditions on growth and carrageenan quality of laboratory-cultured Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta) in Fiji, South Pacific. *Journal of Applied Phycology*, *34*(2), 1033–1043. https://doi.org/10.1007/s10811-022-02690-6

Shete, R. P., Bongale, A. M., & Dharrao, D. (2024). IoT-enabled effective real-time water quality monitoring method for aquaculture. *MethodsX*, *13*, 102906. https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102906

Spillias, S., Cottrell, R. S., Kelly, R., O’Brien, K. R., Adams, J., Bellgrove, A., Kelly, B., Kilpatrick, C., Layton, C., Macleod, C., Roberts, S., Stringer, D., & McDonald-Madden, E. (2022). Expert perceptions of seaweed farming for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, *368*, 133052. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133052

Tembrevilla, G., Phillion, A., & Zeadin, M. (2024). Experiential learning in engineering education: A systematic literature review. *Journal of Engineering Education*, *113*(1), 195–218. https://doi.org/10.1002/jee.20575

Wang, K., Guo, R., Zhou, Y., Jiao, L., & Dong, D. (2022). Detection of NH3 in poultry housing based on tunable diode laser absorption spectroscopy combined with a micro circular absorption cell. *Frontiers in Physics*, *10*. https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1051719

Weng, X., Chiu, T. K. F., & Jong, M. S. Y. (2022). Applying Relatedness to Explain Learning Outcomes of STEM Maker Activities. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.800569

Wu, S.-C., & Chang, Y.-L. (2023). Designing and implementing maker curriculum for promoting 7th graders’ maker competence. *Frontiers in Education*, *8*. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1201534

Yang, W., Lin, K., Zeng, Z., Guo, Y., Chen, C., Wang, H., Xin, R., Liao, J., He, H., Xie, E., Cui,

J., & Wu, J. (2025). Optimizing temperature, light intensity, and salinity for carpospore culture of *Gracilaria fisheri*. *Aquaculture Reports*, *42*, 102749. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102749

Biografi Penulis



Baso Ali, is a lecturer and researcher in the Informatics Study Program at Universitas Cokroaminoto Palopo, South Sulawesi, Indonesia. His research interests include educational technology, microcontroller-based systems, the Internet of Things, and the development of technology-based learning media.
Email: basoali@uncp.ac.id