Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Sensor MQ-135 untuk Analisis Gas Amonia dengan Pendekatan STEAM

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

Article Info
Article history:
Received Okt 01, 2024
Accepted Nov 26, 2024
Published Online Des 31, 2024
Keywords:
Media Pembelajaran
STEAM
MQ-135
Arduino
Gas Amonia

ABSTRACT
Pembelajaran sensor dan mikrokontroler membutuhkan media yang menghubungkan konsep, pemrograman, rekayasa, dan analisis data pada masalah autentik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi media pembelajaran berbasis STEAM dengan sensor MQ-135 untuk pembelajaran analisis gas amonia (NH_3) pada konteks peternakan broiler. Penelitian menggunakan research and development model ADDIE yang meliputi analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Subjek uji lapangan adalah 37 mahasiswa Program Studi Informatika Universitas Cokroaminoto Palopo. Instrumen meliputi angket kebutuhan, lembar validasi ahli materi, ahli media, validasi integrasi STEAM, angket kepraktisan, serta tes pretest dan posttest. Analisis mencakup persentase kelayakan, N-Gain, uji normalitas Shapiro-Wilk, paired-samples t-test, dan Cohen's dz. Hasil analisis kebutuhan mencapai 88,34%. Validasi ahli materi, ahli media, dan integrasi STEAM masing-masing sebesar 90,2%, 91,3%, dan 91,8%, sedangkan kepraktisan media mencapai 88,38%. Rata-rata skor meningkat dari 52,08 pada pretest menjadi 75,05 pada posttest dengan N-Gain 0,476 dalam kategori sedang. Uji berpasangan menunjukkan perbedaan signifikan, $t(36)=11{,}557$, $p<0{,}001$, dengan Cohen's $dz=1{,}90$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media sangat valid dan sangat praktis serta terdapat peningkatan hasil belajar setelah implementasi media. Karena menggunakan desain one-group pretest-posttest tanpa kelompok kontrol, peningkatan tersebut ditafsirkan sebagai perubahan hasil belajar yang berasosiasi dengan implementasi media, bukan sebagai bukti kausal tunggal.
This is an open access under the CC-BY-SA license

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. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Sensor MQ-135 untuk Analisis Gas Amonia dengan Pendekatan STEAM. *Jurnal Riset Dan Inovasi Pembelajaran*, *4*(3), 2391 – 2405. https://doi.org/10.51574/jrip.v4i3.5933

Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Sensor MQ-135 untuk Analisis Gas Amonia dengan Pendekatan STEAM

1. Pendahuluan

Pembelajaran pada pendidikan tinggi informatika perlu menghubungkan konsep komputasi dengan aktivitas merancang, menguji, dan menafsirkan sistem nyata. Pendekatan STEAM dan maker education relevan karena mengintegrasikan disiplin melalui artefak dan masalah autentik, bukan sekadar menempatkan science, technology, engineering, arts, dan mathematics secara berdampingan. Kajian terkini menunjukkan bahwa integrasi STEAM yang dirancang melalui proyek, desain rekayasa, dan aktivitas maker dapat mendukung keterlibatan, kreativitas, serta pengetahuan interdisipliner (Calheiro & Greca, 2026; Davies & Seitamaa-Hakkarainen, 2025; Halawa et al., 2024; Marín-Marín et al., 2021; McLure et al., 2022).

Pada pendidikan teknologi, physical computing memberi kesempatan kepada mahasiswa untuk melihat hubungan kode program, sensor, aktuator, dan data secara langsung. Pengalaman belajar yang memanfaatkan makerspace, Arduino, design thinking, dan proyek berbasis artefak dilaporkan membantu mahasiswa mengembangkan motivasi, self-efficacy, kompetensi desain, dan kemampuan menghubungkan konsep dengan keluaran perangkat (Andrews et al., 2021; García-Tudela & Marín-Marín, 2023; Jia et al., 2021; Kijima et al., 2021; Weng et al., 2022). Temuan lain menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dan desain menjadi lebih bermakna ketika tujuan, aktivitas, produk, dan refleksi data dirancang secara selaras (Beneroso & Robinson, 2022; Chang & Chen, 2022; Lin et al., 2021a; Matere et al., 2023; Servant-Miklos & Kolmos, 2022; L.-H. Wang et al., 2022; C.-H. Wu et al., 2022; S.-C. Wu & Chang, 2023).

Konteks peternakan broiler menyediakan masalah autentik untuk aktivitas tersebut. Amonia (NH_3) berasal terutama dari degradasi senyawa nitrogen pada litter dan peningkatan konsentrasinya berkaitan dengan kualitas lingkungan kandang, respons fisiologis, perilaku, dan risiko kesehatan unggas (Barbosa et al., 2024; Bist et al., 2023; Liu et al., 2021; Zhou et al., 2021). Pada saat yang sama, perkembangan sistem pemantauan kandang menunjukkan bahwa sensor, mikrokontroler, akuisisi data, dan teknik pengukuran NH_3 dapat menghubungkan fenomena lingkungan dengan pengolahan data digital (Cao et al., 2022; Hofstetter et al., 2021; Li et al., 2024; Ma et al., 2025; K. Wang et al., 2022). Dengan demikian, isu NH_3 tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga memiliki potensi pedagogis untuk pembelajaran sensor, pemrograman, interpretasi data, dan pengambilan keputusan berbasis bukti.

Landasan teknologi penelitian ini adalah prototipe detektor NH_3 berbasis Arduino yang

menggunakan sensor MQ-135 sebagai input, Arduino Uno sebagai pengolah, LCD I2C sebagai penampil, dan buzzer sebagai indikator operasional (Ali & Muhamin, 2024). Penelitian teknis tersebut menunjukkan fungsi perangkat untuk pemantauan kandang, tetapi belum menempatkannya sebagai media pembelajaran, belum memetakan hubungan antarkomponen STEAM, dan belum mengevaluasi validitas pedagogis, kepraktisan, serta perubahan hasil belajar mahasiswa. Di sisi lain, banyak studi STEAM dan maker menggunakan artefak umum atau proyek pendidikan, sedangkan studi NH_3 pada peternakan lebih dominan membahas kesehatan, emisi, mitigasi, atau kinerja sensor. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang secara eksplisit merekontekstualisasi perangkat NH_3 sebagai media pembelajaran.

Kebaruan penelitian ini terletak pada transformasi prototipe MQ-135–Arduino dari alat monitoring menjadi media pembelajaran berbasis STEAM yang mengintegrasikan konsep NH_3, teknologi sensor dan mikrokontroler, rekayasa alur input–proses–output, komunikasi visual, serta analisis data ppm dalam konteks peternakan broiler. Penelitian ini secara khusus bertujuan: (1) mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran dan menerjemahkannya ke dalam keputusan desain media; (2) menentukan validitas materi, validitas media, dan kualitas integrasi STEAM; (3) menilai kepraktisan media menurut mahasiswa; dan (4) menguji perubahan hasil belajar sebelum dan sesudah implementasi media. Hipotesis kuantitatif yang diuji adalah terdapat perbedaan signifikan antara skor pretest dan posttest. Karena desain uji perubahan menggunakan satu kelompok tanpa kelompok kontrol, hasil inferensial ditafsirkan secara hati-hati sebagai perubahan yang berasosiasi dengan implementasi media.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan research and development dengan model ADDIE: analysis, design, development, implementation, dan evaluation. Model ADDIE dipilih karena kelima tahapnya sesuai dengan kebutuhan penelitian ini: analysis digunakan untuk memetakan kebutuhan belajar, design untuk menerjemahkan kebutuhan ke rancangan aktivitas STEAM, development untuk mengadaptasi dan memvalidasi produk, implementation untuk menguji media pada pembelajaran nyata, dan evaluation untuk menilai kelayakan serta perubahan hasil belajar. Penelitian dilaksanakan pada Program Studi Informatika, Universitas Cokroaminoto Palopo, Palopo, Sulawesi Selatan, Indonesia. Subjek uji lapangan terdiri atas 37 mahasiswa aktif Program Studi Informatika dalam satu kelas implementasi. Karakteristik akademik yang relevan adalah keterlibatan mahasiswa pada pembelajaran yang berhubungan dengan pemrograman, sensor, dan mikrokontroler; usia dan jenis kelamin tidak digunakan sebagai

variabel analisis dan tidak dihimpun dalam dataset penelitian. Karena subjek berasal dari satu program studi pada satu institusi, hasil tidak dimaksudkan untuk generalisasi berbasis probability sampling.

Prosedur implementasi dilakukan secara berurutan agar dapat direplikasi. Pada tahap analysis, tujuh indikator kebutuhan diukur dan hasilnya digunakan sebagai dasar desain. Pada tahap design, fungsi perangkat dipetakan ke lima komponen STEAM sebagaimana Tabel 1. Pada tahap development, platform MQ-135–Arduino Uno–LCD I2C–buzzer dari penelitian teknis sebelumnya diadaptasi menjadi media pembelajaran, kemudian ditelaah oleh tiga ahli materi, tiga ahli media, dan tiga penilai integrasi STEAM; masukan validator digunakan untuk penyempurnaan produk. Pada tahap implementation, mahasiswa terlebih dahulu mengerjakan pretest, kemudian mengikuti orientasi masalah NH_3 pada peternakan broiler, mengenali fungsi komponen, menelusuri aliran input–proses–output, mengamati pembacaan sensor dan respons LCD/buzzer, mencatat serta membandingkan data ppm, membuat representasi data sederhana, dan mendiskusikan maknanya dalam konteks lingkungan kandang. Setelah aktivitas selesai, mahasiswa mengerjakan posttest dan mengisi angket kepraktisan. Tahap evaluation mengintegrasikan hasil validasi, respons mahasiswa, N-Gain, dan uji statistik untuk menilai kualitas media dan perubahan hasil belajar.

Tabel 1. Integrasi STEAM dalam media pembelajaran

Komponen	Implementasi dalam media
Science	Konsep gas NH_3, kualitas udara kandang, sumber emisi, dan interpretasi fenomena lingkungan.
Technology	Sensor MQ-135, Arduino Uno, LCD I2C, buzzer, serta pembacaan data digital.
Engineering	Perakitan, pengujian fungsi, penelusuran aliran input–proses–output, dan pemecahan masalah sistem.
Arts	Kejelasan antarmuka, tata letak komponen, komunikasi visual, dan penyajian informasi hasil pengukuran.
Mathematics	Nilai ppm, perbandingan data, rata-rata, perubahan nilai, grafik, dan interpretasi kuantitatif.

Instrumen disusun berdasarkan tujuan penelitian dan pemetaan STEAM. Angket analisis kebutuhan menggunakan skala Likert 1–5 dan mencakup tujuh indikator: kebutuhan media praktikum nyata, pembelajaran sensor berbasis Arduino, keterhubungan teori–praktik, konteks masalah nyata, aktivitas STEAM, analisis data sensor, dan pemrograman mikrokontroler. Lembar validasi materi menilai kesesuaian tujuan dan isi, akurasi konsep NH_3, sistematika, relevansi STEAM, serta kesesuaian latihan/evaluasi. Lembar validasi media

menilai desain/tampilan, fungsi perangkat, kemudahan penggunaan, keterbacaan keluaran, keamanan, dan kesesuaian sebagai media belajar. Validasi integrasi STEAM menilai Science, Technology, Engineering, Arts, dan Mathematics. Angket kepraktisan memuat delapan aspek yang tercantum pada Tabel 5. Tes pretest–posttest diarahkan pada kompetensi memahami fungsi sensor dan mikrokontroler, menjelaskan alur input–proses–output, menafsirkan data ppm dan respons sistem, serta menganalisis masalah NH_3 dalam konteks peternakan. Seluruh lembar validasi ditelaah oleh tiga penilai pada masing-masing bidang.

Skor kebutuhan, validitas, dan kepraktisan dikonversi menjadi persentase dengan rasio skor aktual terhadap skor maksimum. Kriteria operasional yang digunakan adalah 81–100% = sangat tinggi/sangat valid/sangat praktis; 61–80% = tinggi/valid/praktis; 41–60% = sedang/cukup valid/cukup praktis; 21−40% = rendah/kurang valid/kurang praktis; dan ≤20% = sangat rendah/tidak valid/tidak praktis. Data hasil belajar diringkas melalui mean, standar deviasi, minimum, dan maksimum. N-Gain dikategorikan tinggi jika $g \geq 0{,}70$, sedang jika $0{,}30 \leq g < 0{,}70$, dan rendah jika $g < 0{,}30$. Asumsi normalitas untuk uji berpasangan diperiksa dengan Shapiro-Wilk pada pretest, posttest, dan terutama skor selisih posttest−pretest. Perbedaan skor diuji dengan paired-samples t-test pada $\alpha = 0{,}05$. Besar perubahan dihitung menggunakan Cohen's dz; secara operasional dz sekitar 0,20, 0,50, dan ≥0,80 ditafsirkan sebagai efek kecil, sedang, dan besar. Rumus yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan berikut:

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

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

$$d^z = \text{Rata-rata selisih} / \text{SD selisih}$$

3. Hasil Penelitian

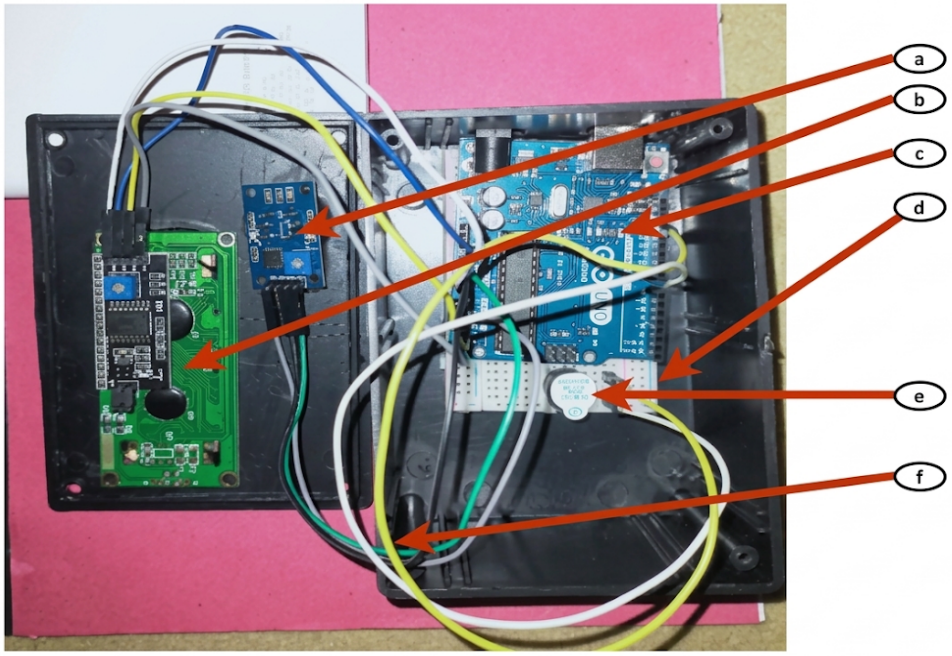
Analisis Kebutuhan dan Pengembangan Produk

Tabel 2. Hasil analisis kebutuhan media pembelajaran (n=37)

Indikator	Mean	Persentase (%)	Kategori
Media praktikum berbasis perangkat nyata	4,38	87,57	Sangat tinggi
Pembelajaran sensor berbasis Arduino	4,51	90,27	Sangat tinggi
Media yang menghubungkan teori dan praktik	4,43	88,65	Sangat tinggi
Pembelajaran kontekstual berbasis masalah nyata	4,30	85,95	Sangat tinggi

Indikator	Mean	Persentase (%)	Kategori
Aktivitas pembelajaran berbasis STEAM	4,54	90,81	Sangat tinggi
Latihan membaca dan menganalisis data sensor	4,41	88,11	Sangat tinggi
Media untuk memahami pemrograman mikrokontroler	4,35	87,03	Sangat tinggi
Rata-rata	4,42	88,34	Sangat tinggi

Rata-rata kebutuhan sebesar 88,34% menunjukkan kebutuhan yang sangat tinggi terhadap media pembelajaran berbasis perangkat nyata. Indikator tertinggi adalah aktivitas berbasis STEAM (90,81%) dan pembelajaran sensor berbasis Arduino (90,27%). Hasil analisis tersebut diterjemahkan langsung ke keputusan desain: kebutuhan media nyata diwujudkan melalui penggunaan prototipe fisik MQ-135–Arduino; kebutuhan sensor dan pemrograman diwujudkan melalui penelusuran kode serta alur input–proses–output; keterhubungan teori–praktik diwujudkan melalui aktivitas praktikum; konteks masalah nyata diwujudkan melalui kasus NH_3 pada peternakan broiler; dan kebutuhan analisis data diwujudkan melalui pencatatan, perbandingan, grafik, serta interpretasi data ppm. Dengan demikian, analisis kebutuhan berfungsi sebagai dasar pengembangan produk dan selanjutnya diverifikasi melalui validasi ahli serta uji kepraktisan.



keterangan

a. Sensor MQ-135
b. LCD display I2C
c. Arduino UNO
d. Breadboard
e. Buzzer
f. Kabel Jumper

Gambar 1. Platform perangkat keras MQ-135.

Produk akhir menggunakan sensor MQ-135, Arduino Uno, LCD I2C, buzzer, breadboard, dan kabel penghubung sebagai platform fisik pembelajaran. Skenario belajar mengarahkan mahasiswa untuk menelusuri fungsi komponen dan alur input–proses–output, menghubungkan kode dengan respons perangkat, menginterpretasi data ppm, dan mendiskusikan makna data pada konteks kandang broiler. Set-point buzzer digunakan sebagai pemicu demonstrasi respons sistem, bukan sebagai batas regulatori. Media juga tidak diposisikan sebagai pengganti analyzer NH_3 terkalibrasi karena tujuan utamanya adalah pembelajaran sensor, pemrograman, rekayasa, dan analisis data).

Validitas Media dan Integrasi STEAM

Tabel 3. Ringkasan hasil validasi produk

Komponen validasi	Rata-rata (%)	Kategori
Ahli materi	90,2	Sangat valid
Ahli media	91,3	Sangat valid
Integrasi STEAM	91,8	Sangat valid

Tabel 4. Validasi komponen STEAM

Komponen	Rata-rata (%)	Kategori
Science	92,2	Sangat valid
Technology	95,6	Sangat valid
Engineering	92,2	Sangat valid
Arts	87,8	Sangat valid
Mathematics	91,1	Sangat valid
Rata-rata	91,8	Sangat valid

Validasi ahli materi mencapai 90,2%, validasi ahli media 91,3%, dan validasi integrasi STEAM 91,8%; seluruhnya berada pada kategori sangat valid. Pada integrasi STEAM, Technology memperoleh skor tertinggi (95,6%), sedangkan Arts memperoleh skor terendah (87,8%) namun tetap berada pada kategori sangat valid. Hasil ini menunjukkan bahwa isi, fungsi media, dan pemetaan lima komponen STEAM memenuhi kriteria kelayakan yang ditetapkan sebelum implementasi pada mahasiswa.

Kepraktisan Media

Tabel 5. Hasil uji kepraktisan oleh mahasiswa (n=37)

Aspek	Mean	Persentase (%)
Kemudahan penggunaan media	4,43	88,65

Aspek	Mean	Persentase (%)
Kejelasan petunjuk penggunaan	4,32	86,49
Tampilan dan daya tarik media	4,38	87,57
Kemudahan memahami sistem sensor	4,49	89,73
Motivasi mengikuti pembelajaran	4,51	90,27
Kesesuaian dengan permasalahan nyata	4,46	89,19
Kemudahan kerja kelompok	4,35	87,03
Kemudahan menganalisis data ppm	4,41	88,11
Rata-rata	4,42	88,38

Kepraktisan rata-rata mencapai 88,38% dan berada pada kategori sangat praktis. Aspek motivasi mengikuti pembelajaran memperoleh nilai tertinggi (90,27%), diikuti kemudahan memahami sistem sensor (89,73%) dan kesesuaian dengan permasalahan nyata (89,19%). Nilai terendah terdapat pada kejelasan petunjuk penggunaan (86,49%), tetapi masih termasuk kategori sangat praktis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media dapat digunakan mahasiswa dengan tingkat kemudahan dan penerimaan yang tinggi pada konteks implementasi penelitian.

Perubahan Hasil Belajar setelah Implementasi Media

Tabel 6. Statistik deskriptif pretest dan posttest

Statistik	Pretest	Posttest	Perubahan
N	37	37	—
Minimum	34	45	—
Maksimum	63	96	—
Mean	52,08	75,05	22,97 poin
Standar deviasi	7,69	11,60	—

Tabel 7. Distribusi dan rata-rata N-Gain

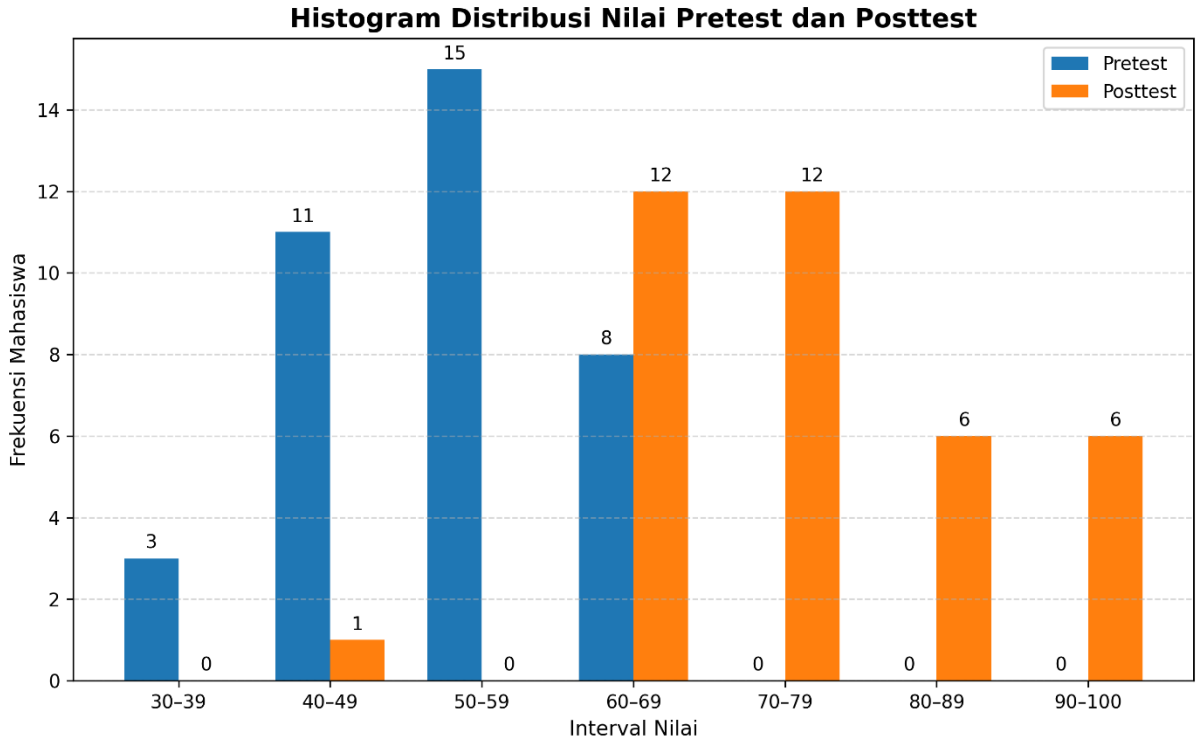
Kategori	Jumlah	Persentase/Nilai
Tinggi ($g \geq 0,70$)	8	21,6
Sedang ($0,30 \leq g < 0,70$)	21	56,8
Rendah ($g < 0,30$)	8	21,6
Total	37	100,0
Rata-rata N-Gain	0,476	Kategori sedang

Tabel 8. Hasil uji normalitas, uji beda, dan effect size

Analisis	Statistik	Signifikansi	Interpretasi
Shapiro-Wilk pretest	W=0,944	p=0,064	Normal

Analisis	Statistik	Signifikansi	Interpretasi
Shapiro-Wilk posttest	W=0,957	p=0,159	Normal
Shapiro-Wilk selisih skor	W=0,945	p=0,067	Normal
Paired-samples t-test	t(36)=11,557	p<0,001	Signifikan
95% CI selisih	18,94–27,00	—	—
Cohen's dz	1,90	—	Efek besar

Rata-rata hasil belajar meningkat dari 52,08 menjadi 75,05 atau 22,97 poin. N-Gain rata-rata sebesar 0,476 berada pada kategori sedang; 21 mahasiswa (56,8%) berada pada kategori sedang, 8 mahasiswa (21,6%) kategori tinggi, dan 8 mahasiswa (21,6%) kategori rendah. Uji Shapiro-Wilk menunjukkan pretest (W=0,944; p=0,064), posttest (W=0,957; p=0,159), dan skor selisih posttest–pretest (W=0,945; p=0,067) memenuhi asumsi normalitas. Paired-samples t-test menunjukkan perbedaan signifikan, t(36)=11,557; p<0,001; 95% CI [18,94, 27,00]. Cohen's dz=1,90 menunjukkan perubahan terstandar yang besar. Peningkatan skor terjadi pada tes yang diarahkan pada kompetensi memahami fungsi sensor/mikrokontroler, alur input–proses–output, interpretasi data ppm, dan analisis konteks NH_3.



Gambar 3. Histogram Distribusi Nilai Pretest dan Posttest

Gambar 3 menunjukkan pergeseran distribusi nilai setelah implementasi media. Skor pretest terutama terkonsentrasi pada interval 40–59, sedangkan skor posttest bergeser ke interval yang lebih tinggi, terutama 60–79 dan 80–100. Pola distribusi ini konsisten dengan hasil statistik deskriptif dan uji berpasangan yang menunjukkan peningkatan hasil belajar setelah kegiatan pembelajaran.

Pembahasan

Kesesuaian Analisis Kebutuhan dengan Desain Media

Analisis kebutuhan tidak diperlakukan sebagai hasil yang berdiri sendiri, tetapi sebagai masukan langsung bagi desain media. Kebutuhan tertinggi terhadap aktivitas STEAM dan pembelajaran sensor diterjemahkan ke aktivitas menggunakan prototipe fisik, pemrograman Arduino, penelusuran alur input–proses–output, serta analisis data ppm. Kesesuaian antara kebutuhan dan desain kemudian memperoleh dukungan dari validasi ahli di atas 90% dan kepraktisan 88,38%. Pola ini memperkuat argumen bahwa media yang dikembangkan merespons kebutuhan yang teridentifikasi, bukan sekadar memanfaatkan perangkat yang sudah tersedia. Temuan tersebut sejalan dengan kajian yang menekankan pentingnya integrasi autentik, pemodelan, dan keterhubungan antardisiplin dalam STEAM (Davies & Seitamaa-Hakkarainen, 2025; George-Reyes et al., 2025; Hallström et al., 2023; Marín-Marín et al., 2021; McLure et al., 2022).

Validitas Produk dan Integrasi STEAM

Skor validitas materi, media, dan integrasi STEAM yang sangat tinggi menunjukkan bahwa prototipe teknis dapat direkontekstualisasi menjadi artefak belajar yang memiliki fungsi pedagogis. Dominasi skor Technology (95,6%) dapat dipahami karena inti platform adalah sensor MQ-135 dan Arduino, sedangkan Arts (87,8%) terutama muncul melalui keterbacaan antarmuka, tata letak, dan komunikasi visual. Integrasi tersebut tetap bersifat fungsional karena mahasiswa menggunakan satu artefak untuk menghubungkan fenomena NH_3, teknologi sensor, proses rekayasa, representasi visual, dan analisis kuantitatif. Hasil ini konsisten dengan penelitian mengenai makerspace, design thinking, engineering design, dan design-based learning yang menekankan pentingnya artefak nyata sebagai pengikat kompetensi lintas disiplin (Andrews et al., 2021; Calheiro & Greca, 2026; Kijima et al., 2021; Lin et al., 2021b; Matere et al., 2023).

Kepraktisan dan Pengalaman Belajar

Kepraktisan 88,38% menunjukkan bahwa media dapat dioperasikan dan dipahami dengan baik oleh mahasiswa pada konteks uji lapangan. Tingginya skor motivasi dan kemudahan memahami sistem sensor menunjukkan bahwa keterhubungan antara tindakan pada perangkat dan data yang dihasilkan menjadi bagian penting dari pengalaman belajar. Temuan ini sejalan dengan penelitian STEAM-maker yang melaporkan peningkatan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman interdisipliner ketika mahasiswa atau peserta didik berinteraksi dengan artefak yang dapat diuji dan direvisi (Jia et al., 2021; Weng et al., 2022; C.-H. Wu et al., 2022; S.-C. Wu & Chang, 2023). Pada pendidikan teknik, pembelajaran berbasis proyek juga

dinilai lebih bermakna ketika mahasiswa memiliki produk konkret, masalah yang jelas, dan kesempatan menerapkan pengetahuan secara langsung (Beneroso & Robinson, 2022; Servant-Miklos & Kolmos, 2022).

Perubahan Hasil Belajar dan Interpretasi Ukuran Efek

Peningkatan rata-rata sebesar 22,97 poin dan perbedaan yang signifikan antara pretest dan posttest menunjukkan adanya perubahan hasil belajar setelah implementasi media. Perubahan ini relevan dengan kompetensi yang menjadi sasaran pembelajaran, yaitu memahami fungsi sensor dan mikrokontroler, menjelaskan alur input–proses–output, menafsirkan data ppm, serta menghubungkan data dengan masalah NH_3. Temuan tersebut konsisten dengan studi yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis desain, proyek, dan STEM dapat mendukung hasil belajar ketika konsep dihubungkan dengan aktivitas pemecahan masalah dan artefak nyata (Chang & Chen, 2022; L.-H. Wang et al., 2022).

N-Gain 0,476 (kategori sedang) dan Cohen's dz=1,90 (efek besar) tidak menunjukkan hasil yang kontradiktif. N-Gain mengukur proporsi peningkatan terhadap skor maksimum yang masih mungkin dicapai oleh masing-masing peserta, sedangkan Cohen's dz menstandarkan rata-rata selisih pretest–posttest terhadap variasi skor selisih. Oleh karena itu, kedua ukuran menjawab pertanyaan statistik yang berbeda. Meski demikian, desain one-group pretest–posttest tidak memiliki kelompok pembanding, sehingga hasil tidak cukup untuk menyimpulkan bahwa seluruh peningkatan disebabkan secara eksklusif oleh media. Temuan lebih tepat dibaca sebagai bukti perubahan hasil belajar yang terjadi setelah implementasi media pada kelompok yang diteliti.

Konteks NH_3 Broiler dan Batasan Teknis Media

Konteks NH_3 memperkuat autentisitas pembelajaran karena mahasiswa berhadapan dengan persoalan yang relevan bagi kesehatan dan lingkungan peternakan. Literatur menunjukkan bahwa paparan NH_3 berkaitan dengan respons respirasi, perilaku, kualitas litter, dan risiko kesehatan broiler (Barbosa et al., 2024; Bist et al., 2023; Liu et al., 2021; Zhou et al., 2021). Upaya pengendalian emisi juga mencakup pengaturan pakan, litter, bahan aditif, dan teknologi mitigasi, sehingga konteks ini menyediakan ruang untuk diskusi lintas disiplin tentang hubungan data, teknologi, dan keputusan pengelolaan (Aderibigbe et al., 2024; Almeldin et al., 2024; Brink et al., 2022; Elsherbeni et al., 2024; Fang et al., 2024; Leal et al., 2023; Okrathok et al., 2023; Poudel et al., 2024; Thennakoon et al., 2024).

Dari sisi teknologi, perangkat pembelajaran perlu dibedakan dari sistem pengukuran regulatori. Studi tentang pemantauan dan mitigasi NH_3 menggunakan pendekatan yang beragam, mulai dari Arduino untuk eksperimen kesehatan unggas, spektroskopi, analisis

multivariat lingkungan kandang, sensor material baru, hingga sistem mitigasi udara buang (Cao et al., 2022; Hofstetter et al., 2021; Li et al., 2024; Luo et al., 2025; Ma et al., 2025; L.-H. Wang et al., 2022). Karena MQ-135 pada penelitian ini tidak dibandingkan secara langsung dengan analyzer NH_3 terkalibrasi, nilai ppm diposisikan sebagai data pembelajaran untuk memahami respons sensor dan analisis sistem. Keterbatasan lain adalah subjek hanya 37 mahasiswa dari satu program studi dan tidak adanya kelompok kontrol; karena itu validitas eksternal dan inferensi kausal masih terbatas.

4. Kesimpulan

Media pembelajaran berbasis STEAM dengan sensor MQ-135 untuk pembelajaran analisis gas amonia pada peternakan broiler berhasil dikembangkan melalui model ADDIE dengan menghubungkan konsep NH_3, teknologi sensor dan mikrokontroler, proses rekayasa, komunikasi visual, serta analisis data ppm. Produk memperoleh validasi ahli materi 90,2%, validasi ahli media 91,3%, validasi integrasi STEAM 91,8%, dan kepraktisan 88,38%, sehingga memenuhi kategori sangat valid dan sangat praktis. Pada 37 mahasiswa, rata-rata skor meningkat dari 52,08 menjadi 75,05, dengan N-Gain 0,476 pada kategori sedang dan perbedaan pretest–posttest yang signifikan, $t(36)=11,557$; $p<0,001$; Cohen's $dz=1,90$. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar setelah implementasi media, tetapi tidak membuktikan hubungan kausal tunggal karena penelitian menggunakan one-group pretest–posttest tanpa kelompok kontrol. Kesimpulan juga dibatasi oleh cakupan subjek pada satu institusi dan belum adanya pembandingan pembacaan MQ-135 dengan analyzer NH_3 terkalibrasi. Dengan batasan tersebut, kontribusi utama penelitian adalah menunjukkan kelayakan pedagogis dan kepraktisan transformasi perangkat detektor NH_3 menjadi media pembelajaran STEAM serta perubahan hasil belajar pada konteks yang diteliti.

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

Aderibigbe, A. S., Wise, T. L., Davis, J. D., Naranjo, V. D., Hess, V., & Dozier, W. A. (2024). Effects of reduced crude protein diets while maintaining essential amino acid concentrations on growth performance, nitrogen output, ammonia production, and meat yield. *Poultry Science*, *103*(5), 103572. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103572

Ali, B., & Muhamin, M. (2024). Rancang Bangun Sistem Detektor Gas Nh3 Pada Peternakan Broiler Berbasis Arduino. *Journal Software, Hardware and Information Technology*, *4*(2), 37–46. https://doi.org/10.24252/shift.v4i2.138

Almeldin, Y. A. R., Eldlebshany, A. E., Elkhalek, E. A., Lohakare, J., & Abdel-Wareth, A. A. A. (2024). Assessment of dietary supplementation of green iron oxide nanoparticles: Impact on growth performance, ammonia emissions, carcass criteria, tissue iron content, and meat quality in broiler chickens under hot climate conditions. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1393335

Andrews, M. E., Borrego, M., & Boklage, A. (2021). Self-efficacy and belonging: The impact of a university makerspace. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00285-0

Barbosa, L. V. S., Lima, N. D. da S., Barros, J. de S. G., de Moura, D. J., Estellés, F., Ramón-Moragues, A., Calvet-Sanz, S., & García, A. V. (2024). Predicting Risk of Ammonia Exposure in Broiler Housing: Correlation with Incidence of Health Issues. *Animals*, *14*(4), 615. https://doi.org/10.3390/ani14040615

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

Bist, R. B., Subedi, S., Chai, L., & Yang, X. (2023). Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. *Journal of Environmental Management*, *328*, 116919. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919

Brink, M., Janssens, G. P. J., Demeyer, P., Bağci, Ö., & Delezie, E. (2022). Reduction of dietary crude protein and feed form: Impact on broiler litter quality, ammonia concentrations, excreta composition, performance, welfare, and meat quality. *Animal Nutrition*, *9*, 291–303. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.009

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

Cao, T., Zheng, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Cong, Q., Wang, Y., & Dong, H. (2022). Pilot study on gaseous pollution removal efficiency of acid scrubbing in a broiler house. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *335*, 108021. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108021

Chang, C.-C., & Chen, Y.-K. (2022). Educational values and challenges of i-STEM project-based learning: A mixed-methods study with data-transformation design. *Frontiers in Psychology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.976724

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

Elsherbeni, A. I., Youssef, I. M., Kamal, M., Youssif, M. A. M., El-Gendi, G. M., El-Garhi, O. H., Alfassam, H. E., Rudayni, H. A., Allam, A. A., Moustafa, M., Alshaharni, M. O., Al-Shehri, M., El Kholy, M. S., & Hamouda, R. E. (2024). Impact of adding zeolite to broilers' diet and litter on growth, blood parameters, immunity, and ammonia emission. *Poultry Science*, *103*(9), 103981. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103981

Fang, S., Fan, X., Xu, S., Gao, S., Wang, T., Chen, Z., & Li, D. (2024). Effects of dietary supplementation of postbiotic derived from *Bacillus subtilis* ACCC 11025 on growth performance, meat yield, meat quality, excreta bacteria, and excreta ammonia emission of broiler chicks. *Poultry Science*, *103*(5), 103444. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103444

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

Hofstetter, D., Fabian, E., & Lorenzoni, A. G. (2021). Ammonia Generation System for Poultry Health Research Using Arduino. *Sensors*, *21*(19), 6664. https://doi.org/10.3390/s21196664

Jia, Y., Zhou, B., & Zheng, X. (2021). A Curriculum Integrating STEAM and Maker Education Promotes Pupils' Learning Motivation, Self-Efficacy, and Interdisciplinary Knowledge Acquisition. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.725525

Kijima, R., Yang-Yoshihara, M., & Maekawa, M. S. (2021). Using design thinking to cultivate the next generation of female STEAM thinkers. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 14. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00271-6

Leal, K., Truong, L., Maga, E., & King, A. (2023). *Lactobacillus* (*L. plantarum* & *L. rhamnosus*) and *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*): Effects on performance, biochemical parameters, ammonium ion in manure, and digestibility of broiler chickens. *Poultry Science*, *102*(4), 102525. https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102525

Li, M., Zhou, Z., Zhang, Q., Zhang, J., Suo, Y., Liu, J., Shen, D., Luo, L., Li, Y., & Li, C. (2024). Multivariate analysis for data mining to characterize poultry house environment in winter. *Poultry Science*, *103*(5), 103633. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103633

Lin, K.-Y., Wu, Y.-T., Hsu, Y.-T., & Williams, P. J. (2021a). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00258-9

Lin, K.-Y., Wu, Y.-T., Hsu, Y.-T., & Williams, P. J. (2021b). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00258-9

Liu, Q. X., Zhang, M. H., Zhou, Y., & Feng, J. H. (2021). Broilers' head behavior as an early warning index of production and lung health under ammonia exposure. *Poultry Science*, *100*(3), 100814. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.067

Luo, J., Rong, J., Zhou, S., Wang, H., Li, M., Yan, X., Wu, Y., & Wang, Y. (2025). A low-cost mitigation system for ammonia removal from broiler house exhaust air. *Poultry Science*, *104*(10), 105529. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105529

Ma, M., Li, Z., Zhu, W., Ju, M., & Gong, L. (2025). Self-powered ammonia gas sensor based on Ga2O3/Mo2Ti2AlC3 nanocomposite material for environmental monitoring in chicken farms. *Chemical Engineering Journal*, *510*, 161722. https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.161722

Marín-Marín, J.-A., Moreno-Guerrero, A.-J., Dúo-Terrón, P., & López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 41. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x

Matere, I. M., Weng, C., Astatke, M., Hsia, C.-H., & Fan, C.-G. (2023). Effect of design-based learning on elementary students computational thinking skills in visual programming maker course. *Interactive Learning Environments*, *31*(6), 3633–3646. https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1938612

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

Okrathok, S., Sirisopapong, M., Mermillod, P., & Khempaka, S. (2023). Modified dietary fiber from cassava pulp affects the cecal microbial population, short-chain fatty acid, and ammonia production in broiler chickens. *Poultry Science*, *102*(1), 102265. https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102265

Poudel, S., Chakraborty, D., & Prasad, R. (2024). Evaluation of the efficacy of amendment types and rates in reducing ammonia emissions from broiler litter. *Poultry Science*, *103*(12), 104467. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104467

Servant-Miklos, V. F. C., & Kolmos, A. (2022). Student conceptions of problem and project based learning in engineering education: A phenomenographic investigation. *Journal of Engineering Education*, *111*(4), 792–812. https://doi.org/10.1002/jee.20478

Thennakoon, T. M. I. D., Udagedara, U. G. D. M. B., Atapattu, N. S. B. M., & Senaratne, D. (2024). Effects of Salvinia as a broiler litter material on growth performance, behavior, welfare parameters, litter characters, and ammonia emission. *Poultry Science*, *103*(4), 103542. https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103542

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

Wang, L.-H., Chen, B., Hwang, G.-J., Guan, J.-Q., & Wang, Y.-Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, *9*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0

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, C.-H., Liu, C.-H., & Huang, Y.-M. (2022). The exploration of continuous learning intention in STEAM education through attitude, motivation, and cognitive load. *International Journal of STEM Education*, *9*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00346-y

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

Zhou, Y., Zhang, M., Liu, Q., & Feng, J. (2021). The alterations of tracheal microbiota and inflammation caused by different levels of ammonia exposure in broiler chickens. *Poultry Science*, *100*(2), 685–696. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.026