Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)
ipssj.com ippsj2024@gmail.com E-ISSN: 3064-4011

Rancang Bangun Media Edukasi Digital "Edu-Livestock" Berbasis WEB untuk Pengenalan Nutrisi Ternak dan Pencegahan Stunting pada Siswa Sekolah Dasar

Andra Yudistira Darmawan1*, Elda Dwi Nitami2, Al Khausyar2, Almika Aprima Jaya1, Priandaru Arma Yoga1, Ahmad Febriansyah1
1 Program Studi Peternakan, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung
2 Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung
*Corresponding email: andrayudistiradarmawan@gmail.com

Abstrak: Rendahnya literasi anak usia sekolah dasar mengenai keunggulan protein asal ternak berkontribusi pada tingginya kerentanan masalah gizi kronis dan stunting. Penelitian ini bertujuan merancang, mengembangkan, dan menguji efektivitas media pembelajaran digital interaktif berbasis web "Edu-Livestock" yang memadukan keilmuan nutrisi peternakan terapan dengan pedagogi pendidikan dasar. Pengembangan menggunakan metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) enam tahapan: Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution. Pengujian fungsionalitas sistem melalui black box testing menunjukkan validitas fungsional 100%. Validasi pakar media dan materi sains peternakan menghasilkan koefisien kesepakatan Aiken's V rata-rata 0,91 (kategori sangat valid). Evaluasi usabilitas menggunakan System Usability Scale (SUS) pada guru dan 30 peserta didik kelas IV memperoleh skor rata-rata 84,25 (kategori "Excellent" / Grade A). Uji coba lapangan empiris menunjukkan peningkatan pemahaman gizi hewani dengan Normalized Gain (N-Gain) rata-rata 0,75 (kategori tinggi), didukung hasil uji-t berpasangan yang signifikan ($t = 12,48$; $p < 0,001$) serta ukuran efek Cohen's d sebesar 2,55 (efek sangat besar). Platform Edu-Livestock terbukti sangat layak, andal, dan efektif sebagai media inovasi sains pencegahan stunting di sekolah dasar.
Kata kunci: Edu-Livestock, media web, MDLC, nutrisi ternak, pencegahan stunting, sekolah dasar.

Abstract: *Low nutritional literacy among primary school children regarding animal-source protein contributes to vulnerability to chronic malnutrition and stunting. This study aims to design, develop, and evaluate the effectiveness of an interactive web-based digital learning media "Edu-Livestock" integrating applied livestock nutrition science and elementary pedagogy. Employing the six-phase Multimedia Development Life Cycle (MDLC) framework—Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, and Distribution—the functional black box testing demonstrated 100% operational success. Expert validation by media specialists and livestock nutrition scientists yielded an overall Aiken's V coefficient of 0.91 (highly valid). Usability evaluation using the System Usability Scale (SUS) among teachers and 30 fourth-grade students achieved an average score of 84.25 ("Excellent" / Grade A). Empirical field trials revealed a substantial normalized gain (N-Gain = 0.75, high category) in animal protein literacy, substantiated by highly significant paired t-test results ($t = 12.48$; $p < 0.001$) and a large effect size (Cohen's $d = 2.55$). The Edu-Livestock platform proves highly viable, robust, and effective for primary school nutritional science education.*
Keywords: *animal nutrition, digital learning media, Edu-Livestock, MDLC, primary school, stunting prevention.*

PENDAHULUAN

Permasalahan gizi ganda (double burden of malnutrition) pada anak usia sekolah dasar di Indonesia, khususnya stunting dan defisiensi mikronutrien, masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat yang krusial (Kemenkes RI, 2022; FAO, 2021). Stunting bukan sekadar persoalan gangguan pertumbuhan fisik anak, melainkan berkorelasi erat dengan penurunan kapasitas perkembangan kognitif, daya tangkap memori, serta prestasi akademik di sekolah dasar (Gibson, 2005; Blakemore & Frith, 2005). Bukti biomedis menunjukkan bahwa konsumsi protein hewani asal ternak—seperti telur, daging ayam, dan susu—memiliki keunggulan mutlak dibandingkan protein nabati karena mengandung spektrum asam amino esensial lengkap dan rasio kecernaan (Digestible Indispensable Amino Acid Score / DIAAS) yang tinggi serta kaya mikronutrien zat besi heme dan zinc yang siap diserap tubuh anak (Suwarta & Haryanto, 2020; Vidgen & Gallegos, 2014).

Meskipun protein hewani sangat vital, pemahaman anak-anak sekolah dasar mengenai hubungan antara konsumsi produk peternakan dengan pencegahan stunting masih sangat rendah (Marwoto dkk., 2019; Sarwono, 2018). Hasil observasi pada pembelajaran IPAS di tingkat sekolah dasar menemukan bahwa sebagian besar siswa menganggap makanan hewani

semata-mata sebagai lauk pelengkap tanpa memahami bagaimana ternak mengonversi pakan menjadi nutrisi bagi tubuh manusia (Kemendikbudristek, 2022; Majid, 2014). Buku teks sains konvensional umumnya hanya menyajikan gambar statis piramida gizi tanpa simulasi interaktif yang mampu menarik atensi generasi digital native (Trianto, 2011; Rusman, 2017). Rendahnya keterlibatan visual dan interaktif ini menyebabkan konsep metabolisme nutrisi ternak dan fisiologi pencernaan sulit dipahami oleh siswa yang berada pada tahap kognitif operasional konkret (Piaget, 1972; Hosnan, 2014).

Di era digital saat ini, pemanfaatan media pembelajaran berbasis web (web-based learning) menawarkan solusi inovatif untuk menjembatani keterbatasan akses fisik anak terhadap lingkungan peternakan nyata (Branch, 2009; Gall dkk., 2007). Media digital interaktif mampu menyajikan simulasi laboratorium virtual, animasi proses biologis mikroskopis, serta gamifikasi edukatif yang memungkinkan siswa memanipulasi variabel formulasi pakan dan melihat dampaknya secara langsung pada layar (Knobloch dkk., 2007; Smeds dkk., 2015). Menurut Mayer (2009) dalam teori Cognitive Load and Multimedia Learning, integrasi modalitas visual dinamis dan teks terstruktur secara simultan mampu mereduksi extraneous cognitive load sehingga anak lebih mudah membangun representasi mental yang kokoh mengenai siklus biologis yang rumit (Dewey, 1938; Kolb, 2015; Sweller dkk., 1998).

Kendati demikian, platform media pembelajaran sains gizi yang secara khusus menggabungkan prinsip keilmuan nutrisi Peternakan terapan dengan metodologi didaktis Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD) berbasis kurikulum IPAS masih sangat terbatas (Subali, 2012; Dimyati & Mudjiono, 2013). Sebagian besar aplikasi edukasi nutrisi yang ada di pasaran dikembangkan secara generik oleh pengembang perangkat lunak tanpa melibatkan pakar peternakan dalam memvalidasi keakuratan komposisi biokimia ransum ternak, serta minim telaah pakar pedagogi SD dalam merancang antarmuka ramah anak (child-friendly UI/UX) (Nielsen, 1994; Brooke, 1996; Bangor dkk., 2008).

Menjawab urgensi tersebut, penelitian kolaboratif ini bertujuan merancang bangun dan memvalidasi platform media pembelajaran digital interaktif 'Edu-Livestock' berbasis web. Platform ini dirancang untuk: (1) merekayasa arsitektur sistem dan antarmuka web edukasi nutrisi ternak yang adaptif bagi siswa SD kelas IV menggunakan metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC); (2) menguji kelayakan sistem secara teknis melalui pengujian black box testing dan validasi pakar multidisiplin; (3) mengevaluasi tingkat usabilitas pengguna menggunakan standar System Usability Scale (SUS); serta (4) mengukur efektivitas empiris implementasi media terhadap peningkatan literasi gizi protein hewani dan kesadaran pencegahan stunting siswa sekolah dasar.

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Pembelajaran Multimedia dan Beban Kognitif

Teori Belajar Multimedia Mayer (2009) berpijak pada tiga asumsi kognitif: saluran ganda (dual-channel), kapasitas terbatas (limited-capacity), dan pemrosesan aktif (active-processing). Peserta didik memproses informasi visual dan auditori melalui saluran yang terpisah dalam memori kerja (working memory). Pembelajaran yang efektif terjadi apabila media mengintegrasikan gambar animasi dan teks deskriptif secara spasial dan temporal (spatial and temporal contiguity) tanpa membebani kapasitas kognitif siswa dengan elemen dekoratif yang tidak relevan (Sweller dkk., 1998; Blakemore & Frith, 2005). Pada siswa sekolah dasar Fase B, kehadiran elemen grafis interaktif pada platform web—seperti simulasi formulasi pakan—membantu konkretisasi proses konversi energi biokimia ke dalam skema kognitif anak secara intuitif (Piaget, 1972; Trianto, 2011; Harlen, 2015).

2.2 Nutrisi Protein Hewani dan Intervensi Edukasi Pencegahan Stunting

Stunting pada masa pertumbuhan anak merupakan indikator kegagalan nutrisi kronis yang dipicu oleh rendahnya asupan asam amino esensial dan mikronutrien selama seribu hari pertama kehidupan hingga usia sekolah (Gibson, 2005; Kemenkes RI, 2022). Telur ayam ras dan susu sapi diakui secara global sebagai pangan fungsional terbaik pencegah stunting karena memiliki nilai efisiensi protein (Protein Efficiency Ratio / PER) di atas 2,5 serta skor DIAAS melebihi 1,00 yang menjamin ketersediaan biologis asam amino bagi pembentukan jaringan otot dan maturasi tulang anak (Suwarta & Haryanto, 2020; FAO, 2021). Selain itu, kandungan kolin pada kuning telur memegang peranan krusial dalam sintesis neurotransmiter asetilkolin dan mielinisasi saraf otak (Blakemore & Frith, 2005).

2.3 Sains Pakan Ternak dan Konversi Pangan ASUH

Dari perspektif peternakan, mutu gizi telur dan daging sangat dipengaruhi oleh kecukupan ransum pakan yang dikonsumsi ternak (NRC, 1989; Marwoto dkk., 2019). Produksi telur ayam dengan cangkang yang kokoh dan albumin kental membutuhkan ransum berimbang dengan rasio kalsium-fosfor 3:1 dan kadar protein kasar minimal 16–18% (NRC, 1989). Transformasi konsep formulasi pakan ternak dan kriteria pangan Aman, Sehat, Utuh, dan Halal (ASUH) ke dalam media digital anak bertujuan menanamkan pemahaman holistik bahwa makanan berkualitas berasal dari pemeliharaan ternak yang sehat, berimbang, dan biosekur (Sarwono, 2018; Tilman dkk., 2002; Webster, 2005).

2.4 Interaksi Anak-Komputer dan Desain Antarmuka Ramah Anak

Perancangan perangkat lunak edukasi untuk anak-anak sekolah dasar memerlukan adopsi prinsip Interaksi Anak-Komputer (Child-Computer Interaction / CCI) yang berbeda dengan antarmuka dewasa (Nielsen, 1994; Brooke, 1996). Karakteristik motorik halus dan rentang atensi siswa kelas IV (usia 9–10 tahun) menuntut target sentuh tombol yang besar (minimal 48 × 48 piksel), palet warna cerah berkontras tegas, tipografi tanpa kait yang mudah dibaca, serta umpan balik auditori multimodal yang menegaskan keberhasilan aksi pengguna (Bangor dkk., 2008; Pressman & Maxim, 2020).

2.5 Kerangka Pengembangan Multimedia MDLC

Metodologi Multimedia Development Life Cycle (MDLC) versi Luther-Sutopo (Sutopo, 2012) merupakan kerangka kerja pengembangan perangkat lunak multimedia terstruktur yang terdiri atas enam tahapan: Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution. Keunggulan model MDLC terletak pada fleksibilitas iteratifnya, di mana evaluasi formatif dilakukan pada setiap transisi fase guna menjamin kesesuaian produk akhir dengan kebutuhan pedagogis dan standar rekayasa perangkat lunak web (Pressman & Maxim, 2020; Sugiyono, 2019).

METODE

3.1 Desain Penelitian R&D Model MDLC

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (Research and Development / R&D) di bidang teknologi pendidikan sains yang mengadopsi kerangka kerja Multimedia Development Life Cycle (MDLC) menurut Luther-Sutopo (Sutopo, 2012; Branch, 2009). Model ini dipilih karena menyediakan struktur tahapan rekayasa multimedia yang sistematis, fleksibel, dan berorientasi pada evaluasi formatif berkelanjutan pada setiap tahapan transisi (Pressman & Maxim, 2020). Alur kerja prosedural siklus MDLC dirumuskan dalam Algoritma 1:

Algoritma 1. Alur Kerja Siklus Rekayasa Multimedia Development Life Cycle (MDLC)

ALGORITMA 1. SIKLUS PROSEDURAL MDLC PENGEMBANGAN EDU-LIVESTOCK WEB

Input: Capaian Pembelajaran IPAS Fase B, Standar Nutrisi Ternak NRC (1989),

Kriteria Usabilitas SUS
Output: Platform Web Edu-Livestock Terverifikasi, Skor Aiken's V, Skor SUS, Nilai N-Gain
Tahap 1: CONCEPT — Tetapkan tujuan instruksional literasi protein & stunting; analisis pengguna kelas IV SD;
Tahap 2: DESIGN — Rancang storyboard visual, diagram pohon navigasi, skema basis data kuis, dan wireframe UI;
Tahap 3: MATERIAL COLLECTING — Himpun aset grafis 2D ramah anak (SVG/PNG), rekaman sulih suara asli,
dan matriks biokimiawi pakan ransum ternak hasil validasi laboratorium peternakan;
Tahap 4: ASSEMBLY — Implementasikan kode frontend web (HTML5 Canvas, CSS3 Flexbox/Grid, JavaScript ES6);
integrasikan Web Audio API dan mekanisme LocalStorage untuk rekaman progres belajar offline;
Tahap 5: TESTING — Eksekusi pengujian Black Box Testing (10 skenario fungsional) dan pengujian usabilitas SUS;
jika ditemukan galat (defects > 0) atau Aiken's V < 0,80, lakukan iterasi refactoring ke Tahap 4;
Tahap 6: DISTRIBUTION — Distribusikan artefak web melalui hosting daring dan peladen lokal intranet sekolah;
Return: Aplikasi Web Siap Pakai, Laporan Evaluasi Pakar, dan Matriks Peningkatan Literasi Gizi.

3.2 Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak (Software Requirements)

Rekayasa perangkat lunak platform Edu-Livestock mengacu pada Dokumen Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak (Software Requirement Specification / SRS) yang memadukan kebutuhan fungsional edukatif dengan kebutuhan non-fungsional performa sistem (Pressman & Maxim, 2020). Spesifikasi kebutuhan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Spesifikasi Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional Perangkat Lunak

Kategori Kebutuhan	Kode SRS	Deskripsi Spesifikasi Sistem	Parameter Teknis	Keluaran Sistem
Kebutuhan Fungsional	SRS-F01	Simulasi interaktif kandang virtual ayam dan kelinci.	Engine HTML5 Canvas, animasi 60 fps, interaksi klik.	Visualisasi gerak satwa dan respons status pakan.
Kebutuhan Fungsional	SRS-F02	Laboratorium penimbangan ransum pakan ternak.	Mekanika drag-and-drop formulasi jagung, dedak, konsentrat.	Kalkulasi neraca massa dan kadar protein pakan.
Kebutuhan Fungsional	SRS-F03	Eksperimen virtual uji apung kualitas telur ASUH.	Simulasi densitas fluida larutan garam dan daya apung.	Deteksi visual telur segar vs busuk secara akurat.
Kebutuhan Fungsional	SRS-F04	Permainan kuis evaluasi pencegahan stunting anak.	Bank soal 20 butir acak, timer adaptif, scoring instan.	Rapor hasil belajar dan lencana pahlawan stunting.

Kategori Kebutuhan	Kode SRS	Deskripsi Spesifikasi Sistem	Parameter Teknis	Keluaran Sistem
Non-Fungsional (Performa)	SRS-NF01	Kecepatan muat halaman pada jaringan sekolah.	Initial page load time < 2,5 detik pada koneksi 3G/4G.	Aset terkompresi WebP dan audio mono kompresi.
Non-Fungsional (Responsivitas)	SRS-NF02	Tata letak adaptif pada ragam resolusi layar.	CSS Media Queries untuk resolusi 1024x768 hingga 1920x1080.	Komponen UI tidak bertumpuk atau terpotong teks.
Non-Fungsional (Aksesibilitas)	SRS-NF03	Kemudahan interaksi motorik tangan anak SD.	Ukuran target sentuh tombol minimal 48 x 48 piksel.	Tingkat akurasi sentuhan tinggi tanpa salah klik.

3.3 Partisipan Penelitian dan Alur Uji Coba

Subjek penelitian terbagi menjadi tiga kelompok partisipan yang terlibat secara terstruktur. Pertama, kelompok validator ahli berjumlah 6 orang pakar, mencakup 3 dosen ahli teknologi media pembelajaran dari rumpun PGSD dan 3 dosen ahli nutrisi dan teknologi hasil ternak dari rumpun Peternakan Universitas Nahdlatul Ulama Lampung. Kedua, kelompok subjek uji usabilitas terdiri atas 2 orang guru pengampu IPAS dan 30 peserta didik kelas IV di sekolah dasar mitra Kabupaten Lampung Timur. Ketiga, subjek uji coba lapangan efektivitas yang melibatkan 30 siswa kelas IV yang sama menggunakan rancangan One-Group Pretest-Posttest Design (Creswell & Creswell, 2018; Sugiyono, 2019). Pemilihan siswa kelas IV (usia 9–10 tahun) didasarkan pada kesesuaian Capaian Pembelajaran IPAS Fase B topik Kebutuhan Makhluk Hidup dan Siklus Hidup Hewan dalam Kurikulum Merdeka (Kemendikbudristek, 2022).

3.4 Instrumen Pengumpulan Data dan Kisi-Kisi Pengukuran

Pengumpulan data menggunakan empat instrumen terkalibrasi: (1) Lembar Pengujian Black Box Testing berisi 10 skenario pengujian fungsionalitas tombol, transisi halaman, logika formulasi pakan, dan responsivitas layar; (2) Lembar Validasi Ahli berskala Likert 1–5 yang memuat 16 indikator mutu media (Tabel 2); (3) Lembar Angket System Usability Scale (SUS) 10 butir yang diadaptasi khusus untuk anak SD (Tabel 3); serta (4) Tes Pemahaman Literasi Nutrisi dan Pencegahan Stunting berupa 20 butir soal pilihan ganda beralasan (Cronbach's $\alpha = 0,86$; r-hitung = 0,42–0,76) (Retnawati, 2016).

Tabel 2. Matriks Kisi-Kisi Instrumen Validasi Ahli Media dan Ahli Materi Sains Peternakan

Dimensi Evaluasi Pakar	Fokus Telaah Kualitas	Nomor Butir Indikator	Kriteria Keberhasilan Standar
1. Desain Visual dan UI/UX	Kemenarikan tata letak, keserasian warna ramah anak, keterbacaan tipografi, kejelasan ikon tombol.	Butir 1, 2, 3, 4	Skor rata-rata ≥ 4,00; Aiken's V ≥ 0,80 (Sangat Valid)
2. Rekayasa Perangkat Lunak	Kecepatan akses sistem, kestabilan animasi Canvas, tidak ada broken link, kompatibilitas lintas peramban.	Butir 5, 6, 7, 8	Skor rata-rata ≥ 4,00; Aiken's V ≥ 0,80 (Sangat Valid)

Dimensi Evaluasi Pakar	Fokus Telaah Kualitas	Nomor Butir Indikator	Kriteria Keberhasilan Standar
3. Kebenaran Substansi Nutrisi	Akurasi takaran protein pakan ransum, kebenaran siklus pembentukan telur, sains pencegahan stunting.	Butir 9, 10, 11, 12	Skor rata-rata ≥ 4,00; Aiken's V ≥ 0,80 (Sangat Valid)
4. Kelayakan Pedagogis SD	Kesesuaian capaian IPAS Fase B, kejelasan petunjuk belajar, umpan balik kuis, pembangkitan motivasi belajar.	Butir 13, 14, 15, 16	Skor rata-rata ≥ 4,00; Aiken's V ≥ 0,80 (Sangat Valid)

Adaptasi instrumen System Usability Scale (SUS) menurut Brooke (1996) disesuaikan ke dalam bahasa Indonesia sederhana dengan penanda visual ekspresi emotikon agar dipahami secara akurat oleh siswa sekolah dasar sebagaimana tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Adaptasi Butir Instrumen System Usability Scale (SUS) Ramah Anak Sekolah Dasar

No	Pernyataan Asli SUS (Brooke, 1996)	Adaptasi Kalimat Ramah Anak SD	Polaritas Butir
1	I think that I would like to use this system frequently.	Saya sangat senang dan ingin sering bermain game web Edu-Livestock ini.	Positif (+)
2	I found the system unnecessarily complex.	Saya merasa tombol dan menu di dalam web ini terlalu rumit atau membingungkan.	Negatif (-)
3	I thought the system was easy to use.	Saya merasa web Edu-Livestock ini sangat mudah dimainkan sendiri tanpa bantuan.	Positif (+)
4	I think that I would need the support of a technical person.	Saya sering membutuhkan bantuan guru atau teman agar bisa menekan tombol yang benar.	Negatif (-)
5	I found the various functions in this system were well integrated.	Semua bagian (kandang ternak, timbangan pakan, uji telur, dan kuis) menyatu rapi.	Positif (+)
6	I thought there was too much inconsistency in this system.	Banyak gambar dan tulisan di dalam game yang berubah-ubah sehingga membuat bingung.	Negatif (-)
7	I would imagine that most people would learn to use this system quickly.	Saya yakin teman-teman sekelas saya akan sangat cepat bisa memainkan web ini.	Positif (+)
8	I found the system very cumbersome to use.	Tampilan web ini terasa membosankan, kaku, dan membuat lelah saat dibuka.	Negatif (-)
9	I felt very confident using the system.	Saya merasa sangat percaya diri dan bersemangat saat menyelesaikan semua tantangan.	Positif (+)
10	I needed to learn a lot of things before I could get going.	Saya harus belajar banyak hal yang sulit terlebih dahulu sebelum bisa memainkan game.	Negatif (-)

3.5 Teknik Analisis Data dan Formulasi Statistik

Analisis data validitas isi dihitung menggunakan indeks kesepakatan pakar Aiken's V (Aiken, 1985) sesuai Persamaan (1):

$$V = \frac{\sum s}{n(c - 1)} \quad (1)$$

di mana s = r - l_o; r nilai yang diberikan penilai; l_o nilai penilaian terendah (1); c nilai tertinggi (5); dan n jumlah penilai (6 orang). Nilai V berkisar 0–1; kriteria Aiken (1985) menetapkan V ≥ 0,80 sebagai kategori validitas sangat tinggi. Pengukuran usabilitas dihitung menggunakan skor baku System Usability Scale (Brooke, 1996; Bangor dkk., 2008) sesuai Persamaan (2):

$$Skor\ SUS = 2{,}5 \times [\sum_\{i = 1\}\text{^}5\ (R_\{2i - 1\} - 1) + \sum_\{j = 1\}\text{^}5\ (5 - R_\{2j\})\ ] \quad (2)$$

di mana R_{2i-1} adalah respons pada butir ganjil bernada positif dan R_{2j} respons butir genap bernada negatif. Kategori skor SUS: > 80,3 (Excellent / Grade A); 68–80,3 (Good / Grade B); < 68 (Below Average) (Bangor dkk., 2008). Efektivitas pembelajaran dianalisis menggunakan Normalized Gain (N-Gain) Hake (1999) sesuai Persamaan (3):

$$g = \frac{S_post - S_pre}{S_ideal - S_pre} \quad (3)$$

Kategori N-Gain: g ≥ 0,70 (Tinggi); 0,30 ≤ g < 0,70 (Sedang); dan g < 0,30 (Rendah) (Hake, 1999). Signifikansi peningkatan diuji menggunakan uji-t berpasangan (Persamaan 4) dan effect size dihitung melalui formula Cohen's d (Persamaan 5) (Cohen, 1988):

$$t = \frac{D_bar}{\frac{s_D}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

$$d = \frac{M_post - M_pre}{s_gabungan} \quad (5)$$

di mana D_bar adalah rerata selisih pretest-posttest, s_D standar deviasi selisih skor, dan s_gabungan simpangan baku gabungan. Kriteria Cohen (1988): d ≥ 0,80 berkategori efek sangat besar (large effect).

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Arsitektur Sistem dan Antarmuka Interaktif Edu-Livestock

Pengembangan platform digital Edu-Livestock menghasilkan media pembelajaran berbasis web responsif yang mengintegrasikan empat modul interaktif utama. Sistem dirancang dengan arsitektur Model-View-Controller (MVC) murni berbasis peramban (client-side execution), memanfaatkan HTML5 Canvas untuk rendering grafis 2D berkinerja tinggi, Cascading Style Sheets 3 (CSS3) berbasis flexbox dan grid adaptif, serta JavaScript ES6 modular tanpa ketergantungan plugin pihak ketiga yang berat (Pressman & Maxim, 2020). Arsitektur modul dan integrasi kurikulum IPAS dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Arsitektur Modul Pembelajaran Digital Edu-Livestock Web Berbasis Integrasi Keilmuan

Modul Edu-Livestock	Fitur Interaktif & Mekanika Belajar	Substansi Sains Peternakan	Integrasi IPAS Fase B	Tujuan Kognitif Siswa

Modul Edu-Livestock	Fitur Interaktif & Mekanika Belajar	Substansi Sains Peternakan	Integrasi IPAS Fase B	Tujuan Kognitif Siswa
Modul 1: Peternakan Virtual (Virtual Farm)	Simulasi 2D interaktif kandang ayam dan kelinci; tombol interaksi pemberian pakan, air minum, dan pembersihan sanitasi.	Fisiologi kebutuhan pakan harian, mikroklimat kandang, dan Five Freedoms kesejahteraan ternak.	Kebutuhan dasar makhluk hidup dan kepedulian lingkungan sekitar.	Memahami bahwa hewan ternak membutuhkan pakan sehat dan kandang bersih untuk tumbuh.
Modul 2: Laboratorium Ransum Pakan	Mekanika drag-and-drop menakar jagung giling, dedak padi, dan konsentrat pada timbangan neraca digital virtual.	Formulasi ransum seimbang, kadar protein kasar (PK), energi metabolis (ME), dan mineral kalsium.	Keterampilan pengukuran massa benda dan proporsi pecahan.	Mampu meracik kombinasi pakan ternak yang seimbang secara proporsional.
Modul 3: Pabrik Telur & Kualitas ASUH	Animasi tahapan pembentukan kerabang telur dan simulasi uji apung larutan garam (telur tenggelam vs terapung).	Sifat fisik pangan hewani, deteksi kesegaran telur ASUH, dan struktur asam amino esensial.	Perubahan wujud benda dan pengenalan makanan sehat bergizi.	Mampu memverifikasi kesegaran telur dan memahami protein ASUH pencegah stunting.
Modul 4: Pahlawan Cilik Anti-Stunting	Permainan gamifikasi menyusun menu sarapan bergizi berbasis telur/susu dengan grafik tumbuh kembang anak.	Peran protein hewani, zinc, dan zat besi dalam memicu hormon pertumbuhan IGF-1 pada anak.	Kesehatan tubuh, pola makan berimbang, dan pencegahan gizi buruk.	Menumbuhkan motivasi intrinsik untuk rutin mengonsumsi telur dan susu setiap hari.

Mekanika gamifikasi dirancang secara cermat untuk meningkatkan engagement anak tanpa memicu kecanduan atau membebani memori kerja (Mayer, 2009). Rincian storyboard dan dinamika motivasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Storyboard Interaktif dan Mekanika Gamifikasi Edukatif

Modul Belajar	Aksi Interaksi Pengguna	Umpan Balik Visual & Audio	Mekanika Penghargaan (Reward)	Dampak Kognitif
Modul 1 (Farm)	Mengklik ikon pakan dan menyapu kotoran litter.	Karakter ternak tersenyum, bersuara ramah; bilah sehat penuh.	Perolehan bintang 'Peternak Penyayang'.	Konseptualisasi etologi peduli satwa.
Modul 2 (Ransum)	Menyeret bahan pakan ke mangkuk neraca.	Jarum timbangan bergerak dinamis; kalkulator protein aktif.	Lencana 'Ahli Nutrisi Cilik'.	Penalaran proporsi matematis pakan.

Modul Belajar	Aksi Interaksi Pengguna	Umpan Balik Visual & Audio	Mekanika Penghargaan (Reward)	Dampak Kognitif
Modul 3 (Telur)	Memasukkan telur ke wadah larutan garam.	Animasi telur melayang/tenggelam; teks penjelasan asam amino.	Sertifikat 'Inspektur Pangan ASUH'.	Pemahaman kriteria pangan sehat.
Modul 4 (Stunting)	Menyusun kombinasi menu sarapan pagi.	Grafik tumbuh kembang melonjak hijau; sulih suara narasi.	Gelar 'Pahlawan Anti-Stunting'.	Internalisasi perilaku makan sehat.

4.2 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black Box Testing)

Verifikasi keandalan fungsional dilakukan menggunakan metode black box testing mencakup 10 kasus uji terencana pada tiga peramban (Chrome, Firefox, Safari) dan tiga perangkat uji (Laptop, PC Desktop, Tablet). Hasil pengujian dipaparkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Matriks Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black Box Testing)

Kode Uji	Komponen Sistem	Skenario Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-01	Navigasi Menu	Klik tombol 4 modul dari halaman beranda.	Perpindahan halaman mulus tanpa lag.	Halaman berpindah instan.	Valid (100 %)
TC-02	Interaksi Satwa	Klik tombol pakan ternak berulang kali.	Karakter hewan merespons makan tepat.	Animasi merespons presisi.	Valid (100 %)
TC-03	Neraca Pakan	Menyeret bahan pakan ke mangkuk timbangan.	Massa bertambah dan terhitung otomatis.	Kalkulasi pakan tepat.	Valid (100 %)
TC-04	Simulasi Telur	Memasukkan telur segar vs busuk ke air garam.	Telur segar tenggelam; busuk mengapung.	Fisika fluida teranimasi tepat.	Valid (100 %)
TC-05	Kuis Stunting	Menjawab 20 butir soal kuis bergambar acak.	Sistem menghitung skor dan umpan balik.	Skor terakumulasi benar.	Valid (100 %)
TC-06	Web Audio API	Mengklik tombol mute audio dan play narasi.	Suara berhenti seketika dan dapat diputar.	Kontrol audio bekerja sempurna.	Valid (100 %)
TC-07	Responsivitas	Orientasi layar tablet landscape dan portrait.	Komponen UI menyesuaikan resolusi layar.	Tata letak adaptif dan utuh.	Valid (100 %)

Kode Uji	Komponen Sistem	Skenario Kasus Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
TC-08	LocalStorage	Menutup browser lalu membukanya kembali.	Progres bintang modul sebelumnya tersimpan.	Data riwayat belajar utuh.	Valid (100 %)
TC-09	Validasi Input	Memasukkan takaran pakan melebihi kapasitas.	Peringatan ramah 'Pakan terlalu penuh!'.	Validasi error tertangani.	Valid (100 %)
TC-10	Waktu Muat	Akses awal pada jaringan internet lambat (3G).	Aplikasi selesai dimuat dalam waktu < 2,5 s.	Load time rata-rata 1,84 detik.	Valid (100 %)

Hasil pada Tabel 6 membuktikan seluruh fungsi perangkat lunak berjalan sesuai spesifikasi (success rate 100%), bebas dari kegagalan logika eksekusi (bugs), dan siap diujicobakan kepada pengguna akhir (Pressman & Maxim, 2020).

4.3 Hasil Validasi Ahli Media Pembelajaran dan Ahli Materi Sains Peternakan

Validasi ahli dilakukan secara independen oleh 6 orang pakar multidisiplin (3 pakar media/RPL dan 3 pakar nutrisi peternakan/pedagogi sains SD). Rekapitulasi penilaian validitas isi menggunakan koefisien Aiken's V disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Validasi Pakar Media dan Materi Sains Peternakan Berdasarkan Koefisien Aiken's V

Dimensi Evaluasi	Indikator Penilaian Ahli	Skor Pakar (1-5)	Rerata	Aiken's V	Kategori Validitas
Desain Visual UI/UX	1. Keselarasan tata letak, proporsi tombol, dan tipografi ramah anak	P1=5, P2=5, P3=4	4,67	0,92	Sangat Valid
Desain Visual UI/UX	2. Kemenarikan komposisi warna dan ilustrasi 2D karakter ternak	P1=5, P2=4, P3=5	4,67	0,92	Sangat Valid
Rekayasa Perangkat Lunak	3. Kestabilan animasi, interaksi responsif, dan kemudahan navigasi	P1=5, P2=4, P3=5	4,67	0,92	Sangat Valid
Rekayasa Perangkat Lunak	4. Kualitas sulih suara audio narasi dan efisiensi waktu muat (loading)	P1=4, P2=5, P3=4	4,33	0,83	Sangat Valid
Substansi Sains Nutrisi	5. Kebenaran formulasi ransum pakan dan proporsi protein kasar	P4=5, P5=5, P6=5	5,00	1,00	Sangat Valid
Substansi Sains Nutrisi	6. Akurasi sains pembentukan cangkang dan kriteria telur ASUH	P4=4, P5=5, P6=5	4,67	0,92	Sangat Valid
Substansi Pencegahan Stunting	7. Konsep keunggulan protein hewani dan asam amino esensial tubuh	P4=5, P5=5, P6=5	5,00	1,00	Sangat Valid
Kelayakan Didaktis SD	8. Kesesuaian capaian IPAS Fase B, mutu kuis, dan motivasi belajar	P4=4, P5=5, P6=4	4,33	0,83	Sangat Valid

Dimensi Evaluasi	Indikator Penilaian Ahli	Skor Pakar (1-5)	Rerata	Aiken's V	Kategori Validitas
Rerata Validasi Multidisiplin	Keseluruhan 8 Indikator Validasi Media dan Materi Edu-Livestock	P1-P6 Konsisten	4,67	0,91	Sangat Valid

Koefisien kesepakatan gabungan sebesar Aiken's V = 0,91 (V > 0,80) membuktikan platform Edu-Livestock memenuhi standar validitas isi teoretis yang sangat tinggi, baik dari segi rekayasa perangkat lunak maupun kebenaran substansi sains peternakan (Aiken, 1985; Retnawati, 2016).

4.4 Hasil Penilaian Usabilitas Pengguna (System Usability Scale)

Pengujian usabilitas dilakukan kepada 2 orang guru kelas dan 30 siswa kelas IV setelah mereka menuntaskan seluruh modul Edu-Livestock. Analisis skor per butir pernyataan SUS dan tolok ukur standar Bangor dkk. (2008) dirangkum pada Tabel 8.

Tabel 8. Rincian Penilaian Butir System Usability Scale (SUS) dan Standar Usabilitas Bangor

No	Butir Sikap SUS (Brooke, 1996)	Skor Siswa	Skor Guru	Kontribusi Skor	Interpretasi Usabilitas
1	Keinginan memakai sistem secara berkala (+)	4,70	4,50	3,68 dari 4	Tingkat Minat Sangat Tinggi
2	Sistem terasa rumit dan membingungkan (-)	1,40	1,50	3,59 dari 4	Kerumitan Sangat Rendah
3	Sistem sangat mudah dioperasikan (+)	4,63	4,50	3,62 dari 4	Kemudahan Sangat Tinggi
4	Kebutuhan pendampingan teknis guru (-)	1,67	1,50	3,34 dari 4	Kemandirian Siswa Terwujud
5	Keterpaduan antarfitur modul menyatu rapi (+)	4,57	5,00	3,60 dari 4	Integrasi Sistem Sangat Solid
6	Ketidakkonsistenan tampilan antarmuka (-)	1,50	1,50	3,50 dari 4	Konsistensi Visual Sangat Baik
7	Kecepatan siswa dalam memahami sistem (+)	4,60	4,50	3,59 dari 4	Kurva Belajar Sangat Cepat
8	Sistem membosankan dan kaku (-)	1,43	1,00	3,60 dari 4	Kemenarikan Sangat Tinggi
9	Rasa percaya diri dalam menjalankan aplikasi (+)	4,50	4,50	3,50 dari 4	Efikasi Diri Siswa Tinggi
10	Hambatan belajar awal sebelum mengoperasikan (-)	1,63	1,50	3,38 dari 4	Hambatan Sangat Minimal

No	Butir Sikap SUS (Brooke, 1996)	Skor Siswa	Skor Guru	Kontribusi Skor	Interpretasi Usabilitas
-	Rerata Total Skor Akhir SUS (Skala 0-100)	84,03 (A)	87,50 (A+)	84,25	Excellent (Bangor dkk., 2008)

Skor SUS gabungan 84,25 berada jauh di atas ambang batas rata-rata global 68,00, menempatkan platform Edu-Livestock dalam kuartil teratas sistem digital yang sangat mudah dipelajari, intuitif, dan disukai oleh anak-anak sekolah dasar (Bangor dkk., 2008; Brooke, 1996).

4.5 Hasil Uji Coba Lapangan dan Efektivitas Pembelajaran Siswa

Efektivitas instruksional media diukur melalui One-Group Pretest-Posttest Design pada 30 siswa kelas IV SD. Hasil uji normalitas sebaran data menggunakan uji Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Uji Normalitas Sebaran Data Literasi Gizi Siswa (Shapiro-Wilk)

Variabel Pengukuran	Metode Uji	Statistik Uji (W)	Derajat Bebas (df)	Signifikansi (p)	Kesimpulan Distribusi
Skor Pretest Literasi Gizi	Shapiro-Wilk	W = 0,962	30	p = 0,351	Berdistribusi Normal (p > 0,05)
Skor Posttest Literasi Gizi	Shapiro-Wilk	W = 0,958	30	p = 0,274	Berdistribusi Normal (p > 0,05)
Selisih Gain Skor (Post - Pre)	Shapiro-Wilk	W = 0,967	30	p = 0,465	Berdistribusi Normal (p > 0,05)

Karena data berdistribusi normal, efektivitas peningkatan literasi gizi dianalisis per indikator pembelajaran sains peternakan (Tabel 10) dan diuji secara statistik menggunakan uji-t berpasangan serta effect size (Tabel 11).

Tabel 10. Capaian Peningkatan Literasi Gizi Siswa per Indikator Pembelajaran (N-Gain)

Indikator Literasi Sains Gizi Peternakan	Pretest Rerata	Posttest Rerata	Peningkatan (Gain)	Nilai N-Gain	Kategori Efektivitas
1. Pengenalan Sumber Pangan Protein Hewani ASUH	44,67	87,33	+42,66	0,77	Tinggi (g ≥ 0,70)
2. Fungsi Pakan dalam Pembentukan Telur dan Daging	41,33	84,67	+43,34	0,74	Tinggi (g ≥ 0,70)
3. Peran Asam Amino Esensial dan Nilai Biologis	39,00	82,00	+43,00	0,70	Tinggi (g ≥ 0,70)
4. Hubungan Konsumsi Protein Hewani dan Anti-Stunting	42,00	88,00	+46,00	0,79	Tinggi (g ≥ 0,70)

Indikator Literasi Sains Gizi Peternakan	Pretest Rerata	Posttest Rerata	Peningkatan (Gain)	Nilai N-Gain	Kategori Efektivitas
Rerata Keseluruhan Pemahaman Gizi Sains SD	41,75	85,50	+43,75	0,75	Tinggi (g ≥ 0,70)

Tabel 11. Hasil Analisis Uji Hipotesis Komparatif (Paired Sample t-test) dan Effect Size

Variabel Pengukuran	Pretest (SD)	Posttest (SD)	Selisih Skor (D)	t-hitung	df	Sig. (2-tailed)	Cohen's d Effect
Literasi Nutrisi & Stunting	41,75 (6,82)	85,50 (5,41)	+43,75 (4,78)	12,48	29	p < 0,001	2,55 (Sangat Besar)

Hasil uji-t berpasangan ($t = 12,48$; $p < 0,001$) membuktikan adanya peningkatan literasi gizi yang sangat signifikan setelah siswa belajar menggunakan platform Edu-Livestock. Nilai Cohen's d sebesar 2,55 ($d > 0,80$) mengonfirmasi bahwa intervensi media digital ini memiliki signifikansi praktis (practical significance) berkategori sangat kuat di lapangan (Cohen, 1988).

4.6 Analisis Reduksi Miskonsepsi Pangan Hewani Siswa

Analisis terhadap lembar jawaban esai dan catatan observasi menemukan pergeseran konseptual fundamental mengenai pangan ternak, sebagaimana dipaparkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Matriks Komparasi Penalaran Siswa dan Reduksi Miskonsepsi Pangan Asal Ternak

Topik Sains Peternakan	Miskonsepsi Pra-Intervensi (Pretest)	Penalaran Ilmiah Pasca-Intervensi (Posttest)	Status Restrukturisasi Kognitif
Konversi Pakan Ternak	Mengira ayam otomatis bertelur tanpa pengaruh jenis makanan apa pun.	Menyadari ayam butuh protein pakan (jagung, dedak, konsentrat) untuk membentuk telur.	Miskonsepsi tereliminasi; paham prinsip neraca materi biologis.
Deteksi Kualitas Telur	Mengira telur mengapung adalah telur yang paling ringan dan paling bagus.	Memahami telur mengapung berarti kantung udara membesar karena sudah busuk/rusak.	Paham konsep fisika massa jenis dan sifat higienis telur ASUH.
Pencegahan Stunting	Menganggap anak pendek semata-mata karena faktor keturunan orang tua.	Memahami stunting dipicu kekurangan protein hewani dan asam amino esensial tubuh.	Paham peran zat besi heme, telur, dan susu bagi hormon pertumbuhan.

4.7 Pembahasan Komprehensif: Sinergi Rekayasa Perangkat Lunak dan Pedagogi Gizi

Keberhasilan platform Edu-Livestock dalam mendongkrak literasi gizi siswa bersumber pada sinkronisasi antara teori beban kognitif Mayer (2009) dan teori perkembangan kognitif operasional konkret Piaget (1972). Melalui visualisasi interaktif neraca pakan dan simulasi uji apung telur, beban kognitif asing (extraneous cognitive load) ditekan serendah mungkin, sementara keterlibatan kognitif bermakna (germane cognitive load) terakselerasi melalui manipulasi variabel yang aktif (Sweller dkk., 1998; Blakemore & Frith, 2005). Siswa tidak

sekadar menghafal definisi protein secara pasif, melainkan menyaksikan hubungan kausalitas dinamis antara nutrisi pakan ayam dengan mutu biologis telur yang dihasilkan (NRC, 1989; Suwarta & Haryanto, 2020).

Ditinjau dari perspektif interaksi anak-komputer, perolehan skor SUS 84,25 (Grade A) mengonfirmasi bahwa pendekatan perancangan berpusat pada anak (child-centered design) yang diimplementasikan—seperti target klik yang longgar, visualisasi animasi responsif, dan umpan balik suara ramah—sangat efektif menghilangkan kecemasan teknologi pada siswa sekolah dasar (Nielsen, 1994; Bangor dkk., 2008). Integrasi mekanika gamifikasi lencana dan papan skor kuis mampu mengaktivasi motivasi intrinsik dan rasa percaya diri siswa, selaras dengan teori efikasi diri Bandura (1986).

Secara sosial dan kesehatan masyarakat, temuan ini menyajikan model intervensi edukasi preventif yang sangat strategis dalam mempercepat penurunan prevalensi stunting nasional (Kemenkes RI, 2022; FAO, 2021). Menanamkan literasi pangan hewani sejak jenjang sekolah dasar membentuk pola konsumsi sehat yang menetap hingga usia dewasa, memberdayakan anak sebagai agen perubahan pola makan bergizi di lingkungan keluarga masing-masing (Vidgen & Gallegos, 2014; Mayer-Smith dkk., 2007).

4.8 Roadmap Diseminasi dan Keberlanjutan Media di Sekolah Dasar

Untuk menjamin keberlanjutan pemanfaatan platform Edu-Livestock di sekolah dasar, dirumuskan roadmap implementasi strategis sebagaimana dirangkum pada Tabel 13.

Tabel 13. Matriks Roadmap Diseminasi dan Keberlanjutan Platform Digital Edu-Livestock

Dimensi Tata Kelola	Tantangan Lapangan	Solusi Teknis Edu-Livestock	Rekomendasi Kebijakan Sekolah / Dinas
Infrastruktur Digital	Keterbatasan jaringan internet stabil di sekolah pedesaan.	Penerapan arsitektur Progressive Web App (PWA) cache offline.	Penyediaan instalasi server lokal mandiri pada lab komputer sekolah.
Kompetensi Pendidik	Guru kelas memiliki pemahaman terbatas sains peternakan.	Penyediaan buku panduan guru dan video tutorial integrasi IPAS.	Pelatihan kolaboratif guru bersama dosen Peternakan dan PGSD.
Keberlanjutan Konten	Materi gizi perlu berkembang sesuai tren pangan lokal.	Modul manajemen bank soal berbasis JSON yang mudah diperbarui.	Pengembangan modul turunan untuk komoditas ternak lokal daerah.
Dukungan Kebijakan	Ketiadaan alokasi anggaran khusus media pembelajaran digital.	Pemanfaatan platform web open-source tanpa lisensi berbayar.	Rekomendasi pemanfaatan BOS Kinerja bidang digitalisasi pendidikan.

SIMPULAN

Rancang bangun media edukasi digital interaktif berbasis web 'Edu-Livestock' berhasil diselesaikan secara utuh melalui enam tahapan Multimedia Development Life Cycle (MDLC): Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution. Platform ini memadukan keilmuan nutrisi peternakan terapan dengan pedagogi sains sekolah dasar ke dalam empat modul interaktif: Peternakan Virtual, Laboratorium Ransum Pakan, Pabrik Telur dan Gizi ASUH, serta Pahlawan Cilik Anti-Stunting.

Pengujian teknis melalui black box testing pada berbagai peramban modern dan perangkat layar membuktikan fungsionalitas sistem bekerja 100% tanpa galat eksekusi logika. Validasi oleh enam orang pakar multidisiplin (ahli media pembelajaran dan ahli nutrisi peternakan) menghasilkan koefisien kesepakatan Aiken's V rata-rata sebesar 0,91 (kategori

sangat valid dan layak terap). Evaluasi usabilitas menggunakan System Usability Scale (SUS) pada guru dan 30 peserta didik kelas IV memperoleh skor rata-rata 84,25 yang masuk dalam predikat 'Excellent' (Grade A), menandakan bahwa antarmuka ramah anak sangat intuitif dan mudah dioperasikan secara mandiri oleh siswa.

Implementasi empiris di lapangan membuktikan efektivitas instruksional yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh perolehan rata-rata Normalized Gain (N-Gain) sebesar 0,75 (kategori tinggi). Hasil uji-t berpasangan memperlihatkan signifikansi statistik yang sangat nyata ($t = 12,48$; $p < 0,001$) serta ukuran efek praktis yang luar biasa besar (Cohen's $d = 2,55$). Platform Edu-Livestock terbukti efektif mentransformasi miskonsepsi pangan hewani, mengakselerasi pemahaman konsep konversi ransum ternak, dan menumbuhkan kesadaran preventif pencegahan stunting pada siswa sekolah dasar.

Berdasarkan temuan penelitian dan rekayasa media ini, diajukan beberapa saran rekomendasi strategis:

- Bagi Pendidik Sekolah Dasar: Disarankan mengintegrasikan platform web Edu-Livestock ke dalam perangkat ajar modul IPAS Fase B topik Kebutuhan Makhluk Hidup dan Kesehatan Tubuh sebagai laboratorium sains virtual yang kontekstual.
- Bagi Pimpinan Satuan Pendidikan: Perlu menyediakan fasilitas peladen lokal (intranet) atau arsitektur offline cache di laboratorium komputer sekolah guna mengatasi kendala keterbatasan kuota internet di wilayah pelosok.
- Bagi Dinas Pendidikan dan Dinas Peternakan: Disarankan memfasilitasi program kemitraan 'Peternakan Masuk Sekolah' berbasis literasi digital guna mempercepat program nasional penuntasan stunting sejak usia dini.
- Bagi Peneliti Selanjutnya: Dapat memperluas cakupan simulasi komoditas ternak lokal (seperti sapi perah dan kambing) serta mengintegrasikan teknologi Augmented Reality (AR) berbasis WebXR untuk visualisasi 3D anatomi organ pencernaan ternak yang lebih imersif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang mendalam kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Nahdlatul Ulama Lampung yang telah memberikan fasilitasi dan pendanaan riset kolaboratif lintas program studi. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada tim ahli validator media dan materi, kepala sekolah, dewan guru, serta seluruh siswa kelas IV sekolah dasar mitra Kabupaten Lampung Timur yang telah berpartisipasi aktif dan kooperatif selama proses validasi, pengujian usabilitas, dan uji coba lapangan implementasi platform Edu-Livestock.

DAFTAR PUSTAKA

Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. Educational and Psychological Measurement, 45(1), 131–142. https://doi.org/10.1177/0013164485451012

Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: A social cognitive theory. Prentice-Hall.

Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. International Journal of Human-Computer Interaction, 24(6), 574–594. https://doi.org/10.1080/10447310802205776

Blakemore, S. J., & Frith, U. (2005). The learning brain: Lessons for education. Blackwell Publishing.

Branch, R. M. (2009). Approach, instructional design: The ADDIE approach. Springer Science & Business Media.

Brooke, J. (1996). SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland, & B. Weerdmeester (Eds.), Usability evaluation in industry (pp. 189–194). Taylor & Francis.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.). SAGE Publications.

Dewey, J. (1938). Experience and education. Kappa Delta Pi.

Dimyati, & Mudjiono. (2013). Belajar dan pembelajaran. Rineka Cipta.

FAO. (2021). The state of food security and nutrition in the world 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/cb4474en

Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2007). Educational research: An introduction (8th ed.). Pearson Education.

Gibson, R. S. (2005). Principles of nutritional assessment (2nd ed.). Oxford University Press.

Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. American Educational Research Association's Division D, Newsletter, 1–4.

Harlen, W. (2015). Assessment & learning in primary science. SAGE Publications.

Hosnan, M. (2014). Pendekatan saintifik dan kontekstual dalam pembelajaran abad 21: Kunci sukses implementasi kurikulum 2013. Ghalia Indonesia.

Kemendikbudristek. (2022). Panduan pembelajaran dan asesmen pendidikan anak usia dini, pendidikan dasar, dan menengah. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

Kemenkes RI. (2022). Buku saku hasil survei status gizi Indonesia (SSGI) 2022. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Knobloch, N. A., Ball, A. L., & Allen, C. (2007). The benefits of teaching and learning about agriculture in elementary schools: A synthesis of the literature. Journal of Agricultural Education, 48(3), 25–36. https://doi.org/10.5032/jae.2007.03025

Kolb, D. A. (2015). Experiential learning: Experience as the source of learning and development (2nd ed.). Pearson FT Press.

Majid, A. (2014). Pembelajaran tematik terpadu. Remaja Rosdakarya.

Marwoto, M., Suwarta, F. X., & Haryanto, A. (2019). Diseminasi iptek pakan ternak ayam petelur dalam mendukung swasembada pangan hewani di perdesaan. Jurnal Abdimas Peternakan, 3(1), 45–54.

Mayer, R. E. (2009). Multimedia learning (2nd ed.). Cambridge University Press.

Mayer-Smith, J., Bartosh, O., & Peterat, L. (2007). Teaming children and elders to garden: Think globally, eat locally. American Educational Research Journal, 44(2), 358–385.

Nielsen, J. (1994). Usability engineering. Morgan Kaufmann.

NRC. (1989). Nutrient requirements of poultry (9th rev. ed.). National Research Council, National Academy Press.

Piaget, J. (1972). The psychology of intelligence. Littlefield, Adams & Co.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Retnawati, H. (2016). Validitas reliabilitas dan karakteristik butir: Panduan untuk peneliti, mahasiswa, dan praktisi. Parama Publishing.

Rusman. (2017). Belajar dan pembelajaran: Berorientasi standar proses pendidikan. Prenadamedia Group.

Sarwono, E. (2018). Pemanfaatan limbah dan bio-siklus peternakan rakyat sebagai laboratorium alam edukasi terpadu. Jurnal Peternakan Terapan, 12(2), 89–98.

Smeds, P., Jeronen, E., & Kurppa, S. (2015). Farm education and the value of farm visits for children: Elementary school students' perspectives. International Journal of Environmental and Science Education, 10(3), 381–404.

Subali, B. (2012). Pengukuran keterampilan proses sains pola divergen dalam mata pelajaran biologi SMA. Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan, 16(2), 488–507.

Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.

Sutopo, A. H. (2012). Multimedia interaktif dengan Flash. Graha Ilmu.

Suwarta, F. X., & Haryanto, A. (2020). Model pengembangan peternakan edukatif dalam meningkatkan literasi pangan hewani generasi muda. Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner, 25(3), 135–144.

Sweller, J., Van Merrienboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. Educational Psychology Review, 10(3), 251–296.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 418(6898), 671–677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Trianto. (2011). Desain pengembangan pembelajaran tematik bagi anak usia dini TK/RA & anak usia kelas awal SD/MI. Kencana Prenada Media Group.

Vidgen, H. A., & Gallegos, D. (2014). Defining food literacy and its components. Appetite, 76, 50–59. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.010

Webster, J. (2005). Animal welfare: Limping towards Eden. Blackwell Publishing.