



Integrasi *Internet of Things (IoT)* dalam *Precision Livestock Farming*: Inovasi Menuju Peternakan Berbasis Data dan Kesejahteraan Hewan

Internet of Things (IoT) Integration in Precision Livestock Farming: Innovation Towards Data-Driven Livestock and Animal Welfare

Aghneo Amar Ahsan¹, Irfan Fadhlurrohman^{2*}

¹ Department of Informatics, Faculty of Informatics, Telkom University Purwokerto. D.I. Panjaitan Street No. 128, Purwokerto, 53147, Central Java, Indonesia

² Department of Animal Products Technology, Faculty of Animal Science, Jenderal Soedirman University, Dr. Soeparno Street No. 60, Purwokerto, 53122, Central Java, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: irfan.fadhlurrohman@unsoed.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Submitted: 30 November 2025

Revised: 15 February 2026

Accepted: 27 February 2026

Published: 1 July 2026

KATA KUNCI:

Internet of things (IoT)

Kesehatan ternak

Monitoring ternak

Precision livestock farming (PLF)

Sensor cerdas

ABSTRAK

Peningkatan permintaan global terhadap produk hewani menuntut transformasi manajemen peternakan dari metode konvensional yang reaktif menuju pendekatan proaktif berbasis data. Namun, adopsi teknologi dalam kerangka *Precision Livestock Farming* (PLF) masih menghadapi tantangan fragmentasi antara implementasi teknis dan validasi kesejahteraan hewan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis arsitektur implementasi *Internet of Things* (IoT) pada berbagai komoditas ternak serta mengevaluasi dampak kuantitatifnya terhadap efisiensi produksi dan manajemen kesehatan. Tinjauan sistematis (*systematic review*) dilakukan terhadap 50 artikel ilmiah (periode 2020–2025) yang diklasifikasikan ke dalam tiga domain utama: implementasi sistem IoT, monitoring kesehatan/perilaku, dan perspektif PLF. Analisis difokuskan pada pola arsitektur perangkat keras (mikrokontroler dan sensor) serta parameter keberhasilan operasional. Sintesis data menunjukkan dikotomi implementasi teknologi yang signifikan. Pada sektor unggas, penerapan IoT didominasi oleh otomatisasi lingkungan (pengendalian suhu, kelembaban, dan gas amonia) yang terbukti menurunkan mortalitas dari 3,67% menjadi 2,35% serta memperbaiki *Feed Conversion Ratio* (FCR) dari 1,46 menjadi 1,38. Sebaliknya, pada sektor ruminansia, teknologi berfokus pada telemetri individu menggunakan *wearable devices* (RFID, GPS, akselerometer) dan integrasi sensor pada sistem biogas yang mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 20%. Namun, ditemukan kesenjangan validasi eksternal pada sensor komersial serta kendala infrastruktur konektivitas pada sistem penggembalaan ekstensif. Implementasi IoT dalam PLF terbukti secara empiris meningkatkan parameter efisiensi teknis dan ekonomis. Kontribusi ilmiah studi ini menegaskan perlunya transisi riset dari sekadar monitoring *real-time* menuju analitik prediktif dan standarisasi validasi sensor untuk menjamin keberlanjutan adopsi teknologi di tingkat peternak.

ABSTRACT

Rising global demand for animal products necessitates a transformation in livestock management from reactive conventional methods to data-driven proactive approaches. However, technology adoption within the Precision Livestock Farming (PLF) framework

KEYWORDS:

Animal health

Internet of things

Monitoring systems

Precision livestock farming

Smart sensors

© 2026 The Author(s). Published by Department of Animal Husbandry, Faculty of Agriculture, University of Lampung in collaboration with Indonesian Society of Animal Science (ISAS).
This is an open access article under the CC BY 4.0 license:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

remains challenged by the fragmentation between technical implementation and animal welfare validation. This study aims to synthesize the architecture of Internet of Things (IoT) implementation across various livestock commodities and evaluate its quantitative impact on production efficiency and health management. A systematic review was conducted on 50 scientific articles (published between 2020 and 2025), classified into three primary domains: IoT system implementation, health/behavior monitoring, and PLF perspectives. The analysis focused on hardware architecture patterns (microcontrollers and sensors) and operational success parameters. Data synthesis revealed a significant dichotomy in technological implementation. In the poultry sector, IoT application is dominated by environmental automation (temperature, humidity, and ammonia gas control), which has been proven to reduce mortality from 3.67% to 2.35% and improve the Feed Conversion Ratio (FCR) from 1.46 to 1.38. Conversely, in the ruminant sector, technology focuses on individual telemetry using wearable devices (RFID, GPS, accelerometers) and sensor integration in biogas systems capable of increasing energy efficiency by up to 20%. Nevertheless, gaps in external validation for commercial sensors and connectivity infrastructure constraints in extensive grazing systems were identified. IoT implementation in PLF is empirically proven to enhance technical and economic efficiency parameters. This study underscores the necessity of transitioning research from mere real-time monitoring to predictive analytics and standardizing sensor validation to ensure the sustainable adoption of technology at the farm level.

1. Pendahuluan

Sektor peternakan global tengah menghadapi tantangan besar untuk memenuhi permintaan produk hewani yang terus meningkat, sekaligus menjawab tuntutan efisiensi, keberlanjutan, dan peningkatan standar kesejahteraan hewan. Sistem peternakan tradisional, yang mayoritas masih bergantung pada pemantauan manual dan kolektif, menunjukkan keterbatasan signifikan dalam mengelola tantangan-tantangan tersebut. Keterbatasan ini mencakup inefisiensi dalam manajemen pakan dan kontrol lingkungan kandang, serta kesulitan fatal dalam deteksi dini penyakit secara *real-time*. Akibatnya, ternak menjadi lebih rentan terhadap ancaman penyebaran wabah seperti Penyakit Mulut dan Kuku (PMK), yang berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi masif karena lambatnya respons penanganan akibat minimnya pengawasan pada metode pemeliharaan konvensional. Meskipun urgensi dari berbagai tantangan pemantauan ini telah banyak dibahas, pendekatan mitigasi berbasis teknologi digital nyatanya masih belum terintegrasi secara sistematis dan meluas dalam praktik peternakan sehari-hari. Beranjak dari kesenjangan implementasi tersebut, kajian literatur ini memfokuskan telaah pada pergeseran paradigma menuju penerapan *Internet of Things* (IoT) untuk *monitoring*

kesehatan dan perilaku ternak di dalam kerangka kerja *Precision Livestock Farming* (PLF), guna memberikan solusi manajemen modern melalui otomatisasi secara presisi dan berkelanjutan.

Urgensi penerapan teknologi dalam kerangka PLF didorong oleh potensinya untuk memberikan solusi berbasis data yang akurat dan *real-time*. Integrasi *Internet of Things* (IoT) menjadi tulang punggung dalam paradigma ini, memungkinkan pengumpulan data vital secara otomatis melalui berbagai sensor yang ditempatkan di lingkungan peternakan. Implementasi sensor suhu dan kelembapan, misalnya, terbukti mampu menjaga kondisi iklim kandang pada level optimal, yang secara langsung menekan stres termal dan meningkatkan kesehatan ternak (Prasetya *et al.* 2023). Peningkatan kontrol lingkungan ini berkorelasi positif dengan efisiensi operasional, salah satunya ditunjukkan melalui perbaikan nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) yang lebih rendah, yang berarti penggunaan pakan menjadi lebih efisien (Adhistian and Mayangsari 2021). Intervensi teknologi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga secara fundamental mendukung pemenuhan prinsip-prinsip kesejahteraan hewan atau *Five Freedoms of Animal Welfare* (Mayasari *et al.* 2023), namun efektivitas implementasi teknologi ini di lapangan masih menghadapi berbagai kendala, seperti biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan infrastruktur pendukung, serta tantangan etis terkait perubahan hubungan manusia-hewan akibat pemantauan yang terlalu intensif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam implementasi teknologi IoT dalam konteks PLF di tingkat nasional dan internasional. Kajian ini akan menguraikan berbagai bentuk penerapan teknologi, menilai keuntungan yang ditawarkan dari segi ekonomi dan kesejahteraan ternak, serta mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam adopsinya. Lebih lanjut, analisis ini juga akan mengeksplorasi potensi pengembangan sistem PLF di masa depan guna mendukung terwujudnya sektor peternakan yang lebih produktif, efisien, dan berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) untuk memastikan objektivitas dan replikabilitas data.

2.1. Sumber data dan strategi pencarian

Pencarian literatur Indonesia dan Inggris di Google Scholar (Oktober 2025) menggunakan operator Boolean: ("Internet of Things" OR "IoT") AND ("Precision Livestock Farming" OR "PLF") AND ("Livestock Monitoring" OR "Animal Welfare").

2.1. Kriteria pemilihan literatur

Untuk menjamin relevansi dan kualitas data, seleksi artikel menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Kriteria inklusi mencakup berbagai desain studi, meliputi penelitian eksperimental, rancang bangun/implementasi sistem, studi observasional lapangan, hingga tinjauan literatur (SLR/Review). Literatur dibatasi pada artikel jurnal ilmiah *peer-review* terbitan 2019–2025 yang berfokus pada teknis dan manajemen penerapan IoT dalam peternakan. Penilaian kualitas metodologis (*quality appraisal*) dilakukan dengan mengevaluasi kejelasan metode riset dan validitas data empiris yang disajikan. Sebaliknya, kriteria eksklusi mengeliminasi opini tanpa data empiris (*white paper*). Terakhir, duplikasi artikel diidentifikasi melalui penyaringan silang terhadap kesamaan judul, nama penulis, dan abstrak antar-database, untuk kemudian disisihkan.

2.2. Ekstraksi data dan penilaian kualitas

Proses seleksi mengikuti diagram alir PRISMA melalui skrining judul dan abstrak. Guna memastikan reliabilitas, seleksi dan ekstraksi data dilakukan secara independen oleh dua peneliti. Dari 50 artikel, 25 studi dievaluasi penuh (*full-text review*). Parameter ekstraksi mencakup jenis teknologi (sensor/RFID), spesies ternak, indikator kinerja (seperti FCR dan tingkat mortalitas), serta efisiensi hasil operasional utama.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan tinjauan sistematis terhadap artikel ilmiah (2019–2025), implementasi IoT terbagi ke dalam tiga klaster utama: (1) sektor unggas yang berfokus pada manajemen lingkungan massal; (2) sektor ruminansia yang memprioritaskan monitoring individu; dan (3) tantangan adopsi teknologi. Rincian komprehensif mengenai arsitektur teknologi dirangkum dalam **Tabel 1**, sementara dampak operasional dan tantangannya diuraikan pada **Tabel 2**. Mekanisme alur data dari input sensor hingga sistem pendukung keputusan divisualisasikan melalui kerangka konseptual pada Gambar 1 berikut.

Tabel 1. Arsitektur dan komponen teknologi IoT dalam *Precision Livestock Farming* (2019 – 2025)

Jenis Ternak (Proses)	Komponen Utama (Sensor)	Arsitektur Sistem & Data Monitoring
Ayam Broiler (Kontrol Lingkungan & Pakan)	Sensor DHT11/DHT22 (Suhu, Kelembaban); Sensor Gas MQ-135/MQ-137 (Amonia); Load Cell (Berat Pakan); Motor Servo/Kipas/Lampu Pijar (Aktuator)	Mikrokontroler (ESP32/NodeMCU ESP8266) dengan <i>Platform Cloud</i> (Blynk/Web/Telegram). monitoring: suhu, kelembaban, kadar gas, level pakan
Budidaya Maggot (Pakan Alternatif)	Sensor DHT22 (Suhu, Kelembaban); <i>Load Cell</i> (Berat Panen); Motor (Pengayak Otomatis)	Mikrokontroler IoT > Database (Firebase) > Aplikasi Android. Monitoring: kondisi lingkungan pembesaran maggot
Unggas Umum (Tinjauan)	Solusi Berbasis Visi (Kamera); Sel Beban (<i>Load Cells</i>); Mikrofon; Akselerometer	Sistem terintegrasi/terpisah. Monitoring: aktivitas/postur, batuk (kesehatan), asupan pakan/air, berat badan
Sapi Perah dan Kerbau	Pedometer, detektor panas, akselerometer (At-Cow); <i>Walk-over-Weigh</i> (WoW), kamera termal (<i>Near-Cow</i>); spektroskopi inframerah (<i>From-Cow</i>)	PLF Terintegrasi. Monitoring: Estrus, Lokomosi (Kepincangan), Ruminasi, Prediksi Kelahiran, Komposisi Susu/Kesehatan
Ruminansia (Sistem Ekstensif/Padang Rumput)	GPS/Akselerometer; RFID Tag; UAV (Drone); <i>Virtual Fencing</i> ; Sensor Lingkungan	Sistem pelacakan <i>real-time</i> . monitoring: lokasi ternak, anggaran aktivitas/perilaku, distribusi penggembalaan, kualitas padang rumput.
Domba/Kambing (Kesejahteraan)	Akselerometer, Sensor Jarak, GPS, RFID, WoW, Kamera	Sistem manajemen risiko/peringatan dini. Monitoring: berat badan/kondisi tubuh (BWC), perubahan perilaku (BC), hasil susu (MY), stresor lingkungan (Evt)
Sapi dan Domba (Manajemen Data)	RFID Tag	Dashboard terintegrasi. Monitoring: pencatatan data ternak, riwayat kesehatan, pemberian <i>treatment</i> individual

Tabel 2. Manfaat utama dan tantangan implementasi IoT

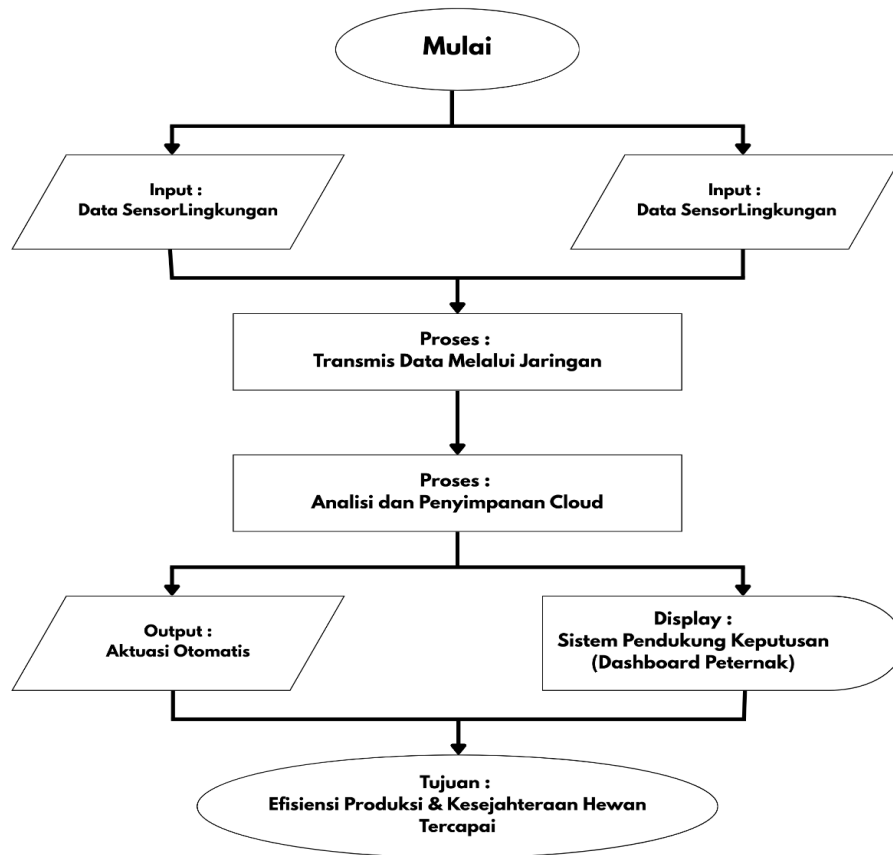
Jenis Ternak	Manfaat Utama (Kinerja & Kesejahteraan)	Tantangan Implementasi
Ayam Broiler	Peningkatan efisiensi pakan; berat panen naik (3,5 ke 4,5 ton); mortalitas turun (3,67% ke 2,35%).	Biaya investasi awal tinggi; literasi digital peternak rendah; kendala transmisi jaringan
Budidaya Maggot	Pengurangan biaya pakan ternak; efisiensi perawatan maggot; optimalisasi limbah kotoran.	Kompleksitas teknis dan kebutuhan pendampingan Ipteks untuk peternak lokal.
Unggas Umum	Deteksi dini penyakit (kepincangan); optimalisasi manajemen kawanan berskala besar.	Kurangnya validasi eksternal; kekhawatiran etis (perubahan ikatan manusia-hewan).
Sapi Perah dan Kerbau	Deteksi dini mastitis/kepincangan; optimalisasi deteksi estrus; peningkatan efisiensi berkelanjutan.	Biaya sensor tinggi; keterbatasan infrastruktur di negara berkembang; kompleksitas teknis.
Ruminansia Ekstensif	Pengurangan biaya tenaga kerja; pencegahan pencurian; konservasi padang rumput (cegah degradasi).	Masa pakai baterai sensor terbatas; jangkauan konektivitas pedesaan buruk.
Domba/Kambing (Kesejahteraan)	Mendukung 5 prinsip kebebasan hewan; deteksi risiko malnutrisi & stres panas.	Kurangnya alat tervalidasi untuk status afektif positif; biaya tinggi untuk ruminansia kecil.
Sapi dan Domba (Manajemen Data)	Menekan angka kematian; pemberian <i>treatment</i> (vitamin/obat) menjadi lebih terarah.	Keengganan berbagi data; preferensi kuat agar tata kelola data dipegang organisasi petani.

Mengacu pada Tabel 1 dan Tabel 2, terdapat dikotomi pendekatan teknis yang berarsitektur seragam (Gambar 1). Sektor unggas menerapkan *flock management* otomatis melalui sensor lingkungan *low-cost* (DHT11, MQ-135) untuk aktuasi iklim mikro. Pendekatan ini sangat efektif dalam memangkas mortalitas dan memperbaiki *feed conversion ratio* (FCR) menjadi 1,38 (Adhistian & Mayangsari, 2021). Sebaliknya, ruminansia menuntut *individual monitoring* menggunakan perangkat *wearable* (RFID, pedometer) yang berujung pada sistem pendukung keputusan *real-time* untuk parameter biologis (Matera *et al.*, 2025). Perbedaan pendekatan antara sektor unggas dan ruminansia ini menunjukkan bahwa desain *precision livestock farming* (PLF) sangat dipengaruhi oleh skala produksi dan tingkat individualisasi manajemen ternak. Otomatisasi lingkungan lebih efektif pada unggas karena homogenitas kawanan, sementara nilai ekonomi individu pada ruminansia membenarkan kompleksitas data biometrik. Pada akhirnya, keberhasilan adopsi sangat ditentukan oleh kemampuan menyeimbangkan biaya investasi awal dengan skala usaha, serta mengatasi kendala konektivitas transmisi data di area pedesaan (Kopler *et al.*, 2023).

3.1. Analisis Tren Penelitian Implementasi IoT dalam Peternakan

Transformasi digital dalam sektor peternakan melalui kerangka *precision livestock farming* (PLF) telah menggeser paradigma manajemen dari pendekatan konvensional menuju sistem pengambilan keputusan berbasis data yang terintegrasi. PLF tidak lagi dipandang sekadar sebagai mekanisme peringatan dini, melainkan sebagai sistem manajemen holistik yang memanfaatkan teknologi sensor, algoritma, dan aplikasi untuk pemantauan berkelanjutan secara *real-time* (Kleen & Guatteo, 2023).

Berdasarkan analisis literatur terkini, tren penelitian dan implementasi *Internet of Things* (IoT) di Indonesia maupun global menunjukkan pola arsitektur yang spesifik, bergantung pada komoditas ternak yang ditangani. Perbedaan karakteristik biologis antara unggas dan ruminansia menuntut pendekatan perangkat keras dan strategi monitoring yang berbeda untuk mencapai efisiensi operasional dan standar kesejahteraan hewan (*animal welfare*).



Gambar 1. Kerangka konseptual integrasi PLF-IoT
(*Conceptual Framework of PLF-IoT Integration*).

Pada komoditas unggas, arsitektur teknologi didominasi oleh sistem kontrol lingkungan (*environmental control*). Karena unggas sangat rentan terhadap fluktuasi iklim mikro, implementasi IoT berfokus pada otomatisasi kandang. Penggunaan sensor suhu, kelembapan, dan gas amonia berbiaya rendah yang terintegrasi dengan mikrokontroler memungkinkan pengendalian mikroklimat secara otomatis, seperti aktivasi kipas buang atau pemanas (Imam & Abdillah, 2024; Wijaya *et al.*, 2025; Budiawan *et al.*, 2025). Stabilitas lingkungan yang dihasilkan terbukti mencegah gangguan pernapasan dan mengoptimalkan pertumbuhan. Di sisi manajemen pakan, penjadwalan presisi berbasis sensor berat otomatis mampu memperbaiki *feed conversion ratio* (FCR) dari 1,46 menjadi 1,38, sekaligus menekan angka mortalitas secara signifikan (Adhistian & Mayangsari, 2021). Pola ini menegaskan bahwa pada unggas, teknologi didesain khusus untuk menciptakan fungsi ekosistem massal (*flock*) yang seragam guna memaksimalkan efisiensi.

Berbeda dengan unggas, arsitektur PLF pada ruminansia menitikberatkan pada pemantauan individu (*individual monitoring*). Penggunaan perangkat *wearable* (seperti RFID *ear tag*, akselerometer, dan GPS) mengubah paradigma pencatatan dari sekadar rata-rata kawanan menjadi analitik presisi per individu ternak (Laurianto *et al.*, 2022). Teknologi ini krusial dalam sistem ekstensif atau penggembalaan untuk mendeteksi anomali perilaku yang mengindikasikan penyakit atau fase estrus secara dini, sehingga memitigasi kerugian ekonomi akibat keterlambatan diagnosis dan mendukung biosekuriti (Tzanidakis *et al.*, 2023; Putra, 2025). Lebih lanjut, inovasi IoT juga telah merambah ke pemantauan proses pengolahan limbah ruminansia menjadi biogas untuk menciptakan kemandirian energi (Sya'bana, 2022). Secara lintas studi, keberhasilan operasional sistem pada kedua sektor komoditas ini sangat bergantung pada infrastruktur konektivitas *cloud* untuk menghasilkan respons dan notifikasi yang cepat (Simanjuntak & Hapsari, 2025).

Pada akhirnya, seluruh integrasi teknologi ini bermuara pada keselarasan antara produktivitas ekonomi dan pemenuhan prinsip *Five Freedoms of Animal Welfare*. Otomatisasi pakan menjamin kebebasan dari rasa lapar, sementara pengendalian iklim mikro dan deteksi dini penyakit melindungi ternak dari ketidaknyamanan fisik serta rasa sakit (Mayasari *et al.*, 2023). Hal ini menegaskan bahwa PLF bukan sekadar modernisasi perangkat keras semata, melainkan katalis strategis yang menerjemahkan data *real-time* menjadi tindakan preventif. Sinergi analitis antara efisiensi teknis, penjaminan kesejahteraan hewan, dan keberlanjutan lingkungan inilah yang menjadi fondasi utama peternakan masa depan.

3.2. Dampak Implementasi terhadap Efisiensi Produksi dan Kesejahteraan Hewan

Adopsi teknologi *precision livestock farming* (PLF) pada kenyataannya masih terhambat oleh tantangan signifikan yang terpusat pada isu ekonomi dan infrastruktur teknis. Dari segi ekonomi, tingginya biaya investasi awal menjadi kendala utama bagi peternak, meskipun teknologi otomatisasi ini sejatinya sangat krusial untuk menekan pembengkakan biaya operasional akibat ketidaktepatan metode manual (Ariani *et al.*, 2019). Beralih pada hambatan infrastruktur, keterbatasan konektivitas jaringan internet di area peternakan pedesaan serta masa pakai baterai sensor yang pendek sering kali melumpuhkan operasional sistem *real-time*. Selain itu, masalah kurangnya

interoperabilitas antar berbagai sistem dari vendor yang berbeda membuat integrasi teknologi PLF menjadi sangat kompleks untuk diterapkan secara menyeluruh.

Peningkatan produktivitas dan kualitas produk merupakan keuntungan berikutnya yang tidak kalah penting. Dengan data yang akurat dan berkelanjutan mengenai kondisi lingkungan dan status fisiologis ternak, peternak dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dan cepat. Sebagai contoh, implementasi sistem *automatic thermal air condition* (ATAC) berbasis IoT yang mengatur suhu, kelembapan, dan kadar amonia secara presisi terbukti berhasil meningkatkan berat rata-rata ayam saat panen, yang secara langsung berkorelasi dengan peningkatan pendapatan (Hasyim As'ari & Ikhwanul Qiram, 2021). Peningkatan produktivitas juga tercermin dalam perbaikan parameter efisiensi peternakan. Sebuah studi empiris menunjukkan bahwa setelah implementasi IoT terjadi perbaikan signifikan pada *feed conversion ratio* (FCR) dari 1,46 menjadi 1,38, yang mengindikasikan penggunaan pakan yang jauh lebih efisien. Bersamaan dengan itu, indeks produktivitas (IP) meningkat menjadi 391,1, dan yang terpenting, angka kematian (mortalitas) berhasil ditekan dari 3,67% menjadi hanya 2,35% (Adhistian & Mayangsari, 2021). Dalam studi kasus lain, penerapan mesin pakan otomatis berbasis IoT bahkan mampu meningkatkan total produksi panen dari 3,5 ton menjadi 4,5 ton dan menurunkan tingkat kematian hingga 29% (Padillah, 2021).

Manfaat PLF juga meluas hingga ke aspek fundamental, yaitu kesejahteraan hewan dan pengendalian penyakit. Kemampuan untuk memonitor kondisi ternak secara individu dan *real-time* memungkinkan deteksi dini terhadap gejala penyakit atau stres. Sensor perilaku dapat mengidentifikasi perubahan pola aktivitas yang mungkin mengindikasikan adanya masalah kesehatan, sementara sensor lingkungan memastikan ternak berada dalam kondisi yang nyaman dan tidak tertekan. Pendekatan proaktif ini memungkinkan intervensi dilakukan lebih awal sebelum masalah menjadi lebih serius dan menyebar ke seluruh populasi, sehingga mengurangi kebutuhan akan penggunaan antibiotik dan meningkatkan status kesehatan kawanan secara keseluruhan (Kleen & Guatteo, 2023). Dengan demikian, PLF tidak hanya mendorong keuntungan ekonomi, tetapi juga memfasilitasi praktik peternakan yang lebih etis dan berkelanjutan, di mana kesehatan dan kesejahteraan hewan menjadi prioritas yang dapat diukur dan dikelola secara objektif.

3.3. Tantangan Adopsi Multidimensi dan Transisi Menuju Analitik Prediktif

Meskipun *precision livestock farming* (PLF) menawarkan potensi transformatif untuk efisiensi dan keberlanjutan, adopsinya menghadapi hambatan multidimensi yang signifikan. Tantangan fundamental terletak pada biaya investasi awal yang tinggi untuk perangkat keras (sensor, mikrokontroler) dan infrastruktur digital, yang sering kali menjadi penghalang ekonomi bagi peternak skala kecil hingga menengah serta negara berkembang (Putra, 2025; Morrone *et al.*, 2022; Matera *et al.*, 2025). Kendala ekonomi ini diperparah oleh defisit infrastruktur teknis, khususnya buruknya konektivitas internet di wilayah pedesaan, keterbatasan masa pakai baterai sensor, serta isu interoperabilitas antar sistem yang menghambat integrasi data yang mulus (Tzanidakis *et al.*, 2023).

Selain hambatan teknis-ekonomis, aspek sosiologis dan etis memegang peran krusial. Kesenjangan literasi digital dan skeptisisme peternak terhadap keandalan teknologi sering kali menghambat penerimaan sistem baru, di mana peternak merasa teknologi terlalu kompleks atau tidak terbukti secara eksternal (Kopler *et al.*, 2023; Gómez *et al.*, 2021). Secara etis, terdapat kekhawatiran mengenai erosi hubungan manusia-hewan (*human-animal relationship*) dan risiko “objektifikasi” ternak menjadi sekadar titik data, yang berpotensi menghilangkan peran pengawasan naluriah peternak (*de-skilling*) serta menimbulkan isu privasi dalam tata kelola data ternak (Papakonstantinou *et al.*, 2024; Krampe *et al.*, 2024; Schillings *et al.*, 2021).

Transformasi menuju sistem prediktif berbasis AI membuka peluang deteksi dini penyakit dan optimasi nutrisi secara presisi. Algoritma *machine learning* memungkinkan sistem untuk bertransisi dari sekadar alarm reaktif menjadi analitik prediktif, sehingga mampu mengantisipasi wabah sebelum gejala klinis muncul (Himu & Raihan, 2024; Kleen & Guatteo, 2023). Evolusi ini didukung oleh sensor biometrik canggih serta model matematika *real-time* untuk memastikan efisiensi pakan secara maksimal tanpa mengabaikan kesejahteraan hewan (Pomar & Remus, 2023).

Di sisi lain, integrasi teknologi pada sistem penggembalaan luas (*rangelands*) memperluas peran PLF dalam keberlanjutan ekosistem dan mitigasi konflik lingkungan. Melalui pemanfaatan *virtual fencing* dan pelacakan GPS *real-time*, teknologi ini menawarkan solusi spesifik untuk manajemen satwa liar, sekaligus menjanjikan keseimbangan antara profitabilitas ekonomi dan kelestarian lingkungan secara luas (Bailey *et al.*, 2021).

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengonfirmasi bahwa penerapan *precision livestock farming* (PLF) berbasis IoT secara holistik telah mentransformasi manajemen peternakan. Integrasi teknologi digital ini terbukti secara empiris mampu meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memenuhi standar kesejahteraan hewan secara simultan. Hal ini memvalidasi bahwa modernisasi infrastruktur dapat menyelaraskan target keuntungan ekonomi dengan prinsip *Five Freedoms of Animal Welfare*.

Meskipun menawarkan potensi transformatif, keberlanjutan adopsi teknologi ini masih terhambat oleh tantangan multidimensi, termasuk tingginya biaya investasi awal, kesenjangan infrastruktur konektivitas di pedesaan, hingga isu sosiologis terkait literasi digital dan etika interaksi manusia–hewan. Oleh karena itu, arah riset dan pengembangan masa depan perlu bergeser dari sistem pemantauan reaktif menuju analitik prediktif yang mengintegrasikan *artificial intelligence* (AI) dan *big data*.

Implikasi ilmiah dari transisi ini sangat esensial untuk membangun kerangka ekosistem peternakan digital yang inklusif, serta memastikan bahwa solusi teknologi deteksi dini yang presisi dapat terjangkau dan aplikatif bagi peternak berskala kecil hingga menengah.

Daftar Pustaka

- Adhastian, P., & Mayangsari, M. (2021). Implementasi IoT dalam otomasi pengontrolan kondisi lingkungan dan pemberian pakan: Efeknya terhadap parameter efisiensi peternakan. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 6(2), 217–224.
- Ariani, F., Vandika, A. Y., & Widjaya, H. (2019). Implementasi alat pemberi pakan ternak. *Sistem Informasi dan Telematika*, 10(2), 90–97.
- Bailey, D. W., Trotter, M. G., Tobin, C., & Thomas, M. G. (2021). Opportunities to apply precision livestock management on rangelands. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 611915. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.611915>
- Budiawan, A., Suryono, R. R., & Darwis, D. (2025). Implementation of Internet of Things based ammonia gas sensors on broiler chicken farms with an automatic air quality monitoring and control system. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 343–349.
- Sya'bana, D. H. (2022). Pemanfaatan IoT dalam sistem biogas untuk mewujudkan kemandirian energi listrik di peternakan. *Jurnal*, 4(1), 74–77.
- Prasetya, E., Fadillah, N., Satriyo, S., Rusman, R., & Tharam, M. Y. (2023). Sistem monitoring dan smart farming untuk peternakan anak ayam berbasis Internet of Things (IoT). *Electrical Network Systems and Sources*, 2(2), 60–66. <https://doi.org/10.58466/entries.v3i2.1632>

- Simanjuntak, G. E. V., Hapsari, A. D., & R. A. (2025). Implementasi sistem penerangan untuk peternakan anak ayam berbasis Internet of Things (IoT) dengan fitur notifikasi real-time.
- Gómez, Y., Stygar, A. H., Boumans, I. J. M. M., Bokkers, E. A. M., Pedersen, L. J., Niemi, J. K., Pastell, M., Manteca, X., & Llonch, P. (2021). A systematic review on validated precision livestock farming technologies for pig production and its potential to assess animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 660565. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
- As'ari, H., Qiram, I., & F. A. (2021). Implementasi teknologi automatic thermal air condition (ATAC) berbasis Internet of Things (IoT) pada UKM peternakan ayam broiler. *Jati Emas*, 5(2), 5–10.
- Himu, H. A., & Raihan, A. (2024). An overview of precision livestock farming (PLF) technologies for digitalizing animal husbandry toward sustainability. *Global Sustainability Research*, 3(3), 1–14. <https://doi.org/10.56556/gssr.v3i3.954>
- Imam, & Abdillah, N. (2024). Sistem pemantau suhu dan kelembapan pada kandang anak ayam berbasis Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, 2(1), 509–517. <https://doi.org/10.59407/jrsit.v2i1.1035>
- Kleen, J. L., & Guatteo, R. (2023). Precision livestock farming: What does it contain and what are the perspectives? *Animals*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/ani13050779>
- Kopler, I., Marchaim, U., Tikász, I. E., Opaliński, S., Kokin, E., Mallinger, K., Neubauer, T., Gunnarsson, S., Soerensen, C., Phillips, C. J. C., & Banhazi, T. (2023). Farmers' perspectives of the benefits and risks in precision livestock farming in the EU pig and poultry sectors. *Animals*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/ani13182868>
- Krampe, C., Ingenbleek, P. T. M., Niemi, J. K., & Serratosa, J. (2024). Designing precision livestock farming system innovations: A farmer perspective. *Journal of Rural Studies*, 111, 103397. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103397>
- Laurianto, E., Gracia, E., Clarissa, F., Widjaja, E., Barus, P., & Kunci, K. (2022). Transformasi peternakan digital dengan mengimplementasikan teknologi Internet of Things (IoT) pada Arjuna Farm. *Jurnal*, 3(1), 300–308.
- Matera, R., Pierro, F., Santinello, M., Iraci Fuintino, A., Pacelli, G., Norton, T., & Neglia, G. (2025). Precision livestock farming in buffalo species: A sustainable approach for the future. *Smart Agricultural Technology*, 11, 101060. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101060>
- Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M. G. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming (PLF): An up-to-date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12). <https://doi.org/10.3390/s22124319>
- Mayasari, N., Hiroyuki, A., Budinuryanto, D. C., Firmansyah, I., & R. I., M. (2023). Penerapan prinsip kesejahteraan hewan pada pemeliharaan ternak. *Jurnal*, 12(3), 360–373.
- Padillah, R. (2021). Implementasi revolusi industri (4.0) pada UKM ayam broiler melalui mesin pakan ayam otomatis berbasis Internet of Things (IoT). *JATI EMAS (Jurnal Aplikasi Teknik dan Pengabdian Masyarakat)*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.36339/je.v5i1.382>
- Papakonstantinou, G. I., Voulgarakis, N., Terzidou, G., Fotos, L., Giamouri, E., & Papatsiros, V. G. (2024). Precision livestock farming technology: Applications and challenges of animal welfare and climate change. *Agriculture*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture14040620>

- Pomar, C., & Remus, A. (2023). Fundamentals, limitations and pitfalls on the development and application of precision nutrition techniques for precision livestock farming. *Animal*, 17, 100763. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100763>
- Putra, I. M. A. (2025). Peran teknologi digital dalam monitoring kesehatan ternak ruminansia. *Jurnal*, 1(1), 14–21.
- Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D. C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to help address farm animal welfare. *Frontiers in Animal Science*, 2, 639678. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678>
- Tzanidakis, C., Tzamaloukas, O., Simitzis, P., & Panagakis, P. (2023). Precision livestock farming applications (PLF) for grazing animals. *Agriculture*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture13020288>
- Wijaya, H., Rini, A., & Azro, I. (2025). Implementasi sistem monitoring berbasis IoT pada peternakan ayam Alfarizi Palembang. *Jurnal JUPITER*, 17(2), 871–880.