

SmartBovine: Sistem Monitoring dan Geolokasi Ternak Sapi Berbasis *Internet of Things* untuk Deteksi Dini Penyakit

Faiq Raihan Musyaffa¹, Giga Lukman Maulana², Kanisius Rangga Putu Wiguna³, Puspitasari⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Subang, Subang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Received: July 19, 2026
Reviewed: August 02, 2026
Available online: August 28, 2026

KORESPONDEN

E-mail: giga.10601016@student.polsub.ac.id

ABSTRACT

Manual monitoring of cattle health on farms requires significant time and effort, potentially leading to delays in the early detection of disease indications. This research aims to develop SmartBovine, an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for cow health, activity, and location, seamlessly integrated with a mobile application and web admin. The methodology applied is software engineering using an Agile approach combined with Cyber-Physical System development. The main hardware consists of an ESP32 microcontroller, MLX90614 infrared temperature sensor, MPU6050 motion sensor, NEO-6M GPS, and SIM800L cellular module. Test results showed that the temperature sensor possesses a very low error rate, with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.12°C, effectively complying with clinical monitoring standards. The motion sensor successfully and accurately distinguished between the resting and active states of the cattle. Furthermore, the data transmission success rate from the telemetry system to Firebase reached 98.68%. In conclusion, the SmartBovine system was successfully built to provide real-time data and automated notifications, immensely helping farmers detect abnormal conditions in cattle more modernly, quickly, and efficiently.

KEYWORD:

Internet of Things, cow health monitoring, temperature sensor, mobile application.

ABSTRAK

Pemantauan kesehatan ternak sapi secara manual di peternakan membutuhkan waktu, tenaga, dan berpotensi memicu keterlambatan dalam mendeteksi indikasi awal penyakit. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan SmartBovine, sebuah sistem pemantauan kesehatan, aktivitas, dan lokasi sapi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi *mobile* dan *web admin*. Metode yang digunakan adalah rekayasa perangkat lunak dengan pendekatan Agile dan pengembangan *Cyber-Physical System*. Perangkat keras utama meliputi mikrokontroler ESP32, sensor suhu inframerah MLX90614, sensor gerak MPU6050, GPS NEO-6M, serta modul seluler SIM800L. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki tingkat galat sangat rendah dengan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,12°C yang memenuhi standar pemantauan klinis. Sensor gerak juga berhasil membedakan status istirahat dan aktif ternak secara akurat. Selain itu, tingkat keberhasilan transmisi data sistem telemetri ke Firebase mencapai angka 98,68%. Kesimpulannya, sistem SmartBovine berhasil dibangun untuk menyajikan data secara *real-time* dan memberikan notifikasi otomatis, sehingga membantu peternak dalam mendeteksi kondisi abnormal pada sapi dengan lebih modern, cepat, dan efisien.

KATA KUNCI:

Internet of Things, pemantauan kesehatan sapi, sensor suhu, aplikasi mobile.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi informasi mendorong perkembangan yang semakin pesat dan memberikan dampak pada berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor peternakan. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan proses pengelolaan data dan pemantauan berbagai aktivitas dilakukan secara lebih cepat, akurat, dan efisien. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT), yaitu teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data dan pemantauan secara real-time (Ikhsan & Purnomo, 2023).

Peternakan sapi merupakan salah satu sektor penting dalam mendukung kebutuhan pangan masyarakat. Ternak sapi yang dipelihara dapat menghasilkan daging sebagai bahan pangan tinggi protein yang berperan penting dalam memenuhi kebutuhan gizi masyarakat (Supriadi et al., 2024). Oleh karena itu, produktivitas dan kesehatan ternak perlu dijaga agar kualitas serta kuantitas hasil peternakan tetap optimal.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan dan perkembangan teknologi, sektor peternakan juga dituntut untuk beradaptasi dengan konsep digitalisasi melalui penerapan smart farming yang mengintegrasikan teknologi informasi, sensor, dan perangkat IoT untuk membantu proses pemantauan serta pengelolaan ternak secara lebih efektif (Ikhsan & Purnomo, 2023). Meskipun demikian, proses pemantauan kesehatan ternak sapi pada banyak peternakan, termasuk Peternakan Dewa Kebo yang menjadi mitra dalam penelitian ini, masih dilakukan secara manual melalui pengamatan langsung oleh peternak. Metode tersebut membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar, menyebabkan data kondisi ternak tidak terdokumentasi dengan baik, serta berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam mengetahui perubahan kondisi ternak yang dapat menjadi indikasi awal gangguan kesehatan, terutama ketika peternak tidak berada di area kandang.

Perkembangan teknologi IoT memungkinkan proses pemantauan kesehatan ternak dilakukan secara otomatis menggunakan sensor yang terhubung ke internet. Data yang diperoleh dari sensor dapat dikirim dan disimpan secara real-time, kemudian ditampilkan melalui aplikasi berbasis web maupun mobile sehingga peternak dapat memantau kondisi ternak dari jarak jauh tanpa harus selalu berada di lokasi peternakan. Selain itu, data yang tersimpan dapat digunakan sebagai riwayat monitoring untuk membantu proses evaluasi kesehatan ternak secara berkelanjutan (Aprilliana et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan SmartBovine, yaitu sistem monitoring kesehatan, aktivitas, dan lokasi sapi berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi mobile dan web admin. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan

membangun sistem yang dapat mengumpulkan, mengirim, dan menampilkan data suhu tubuh, aktivitas, serta lokasi sapi secara real-time; menyimpan dan menyajikan riwayat data tersebut dalam bentuk informasi dan visualisasi yang mudah dipahami oleh peternak; serta memberikan notifikasi otomatis ketika terdeteksi kondisi abnormal pada sapi sehingga peternak dapat melakukan tindakan penanganan secara lebih cepat. Sistem dikembangkan menggunakan metode Agile agar dapat menghasilkan aplikasi yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dan mudah dikembangkan secara bertahap. Dengan adanya SmartBovine, diharapkan proses pemantauan kesehatan ternak menjadi lebih efektif, membantu deteksi dini kondisi abnormal, serta mendukung pengelolaan peternakan yang lebih modern dan berbasis teknologi.

METODOLOGI

Waktu dan Tempat

Penelitian dan pengembangan sistem ini dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2026. Proses perancangan perangkat lunak dan perakitan komponen keras dilakukan di Laboratorium Komputer dan Laboratorium *Internet of Things* (IoT), Gedung Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer, Politeknik Negeri Subang, Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang. Sementara itu, tahapan implementasi, pengambilan sampel data, dan pengujian lapangan (*field testing*) dilaksanakan langsung di area Peternakan Dewa Kebo, Kabupaten Subang.

Alat dan Bahan

Instrumen perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi laptop pengembangan (spesifikasi komputasi untuk pemrograman), *smartphone* berbasis Android/iOS sebagai terminal aplikasi *mobile*, perangkat solder, multimeter digital, serta komponen mikrokontroler (ESP32/node telemetri). Perangkat sensor pendukung terdiri dari sensor suhu inframerah MLX90614, sensor akselerometer dan giroskop MPU6050, serta modul GPS untuk pelacakan geolokasi. Di sisi perangkat lunak, instrumen yang digunakan meliputi Visual Studio Code, Arduino IDE, Firebase Console untuk manajemen basis data *real-time*, serta platform *Roboflow* untuk pengelolaan model *Computer Vision*.

Bahan utama yang menjadi subjek penelitian adalah ternak sapi yang berada di Peternakan Dewa Kebo. Bahan penunjang perangkat keras meliputi baterai tipe 18650 sebagai catu daya portabel, kabel *jumper*, *printed circuit board* (PCB), timah solder, dan material *casing* pelindung *wearable device* yang tahan cuaca. Sedangkan bahan dalam bentuk data digital meliputi dataset citra kondisi feses sapi untuk keperluan pelatihan model klasifikasi kesehatan pencernaan, serta *framework* Flutter SDK untuk pengembangan antarmuka aplikasi.

Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode rekayasa perangkat lunak yang terintegrasi dengan pengembangan sistem siber-fisik (*Cyber-Physical System*). Prosedur penelitian meliputi empat tahapan utama: analisis kebutuhan sistem (*Software Requirements Specification*), perancangan arsitektur (*Software Design Document*), implementasi (perakitan hardware dan pengodean software), serta pengujian sistem secara menyeluruh.

Prosedur diawali dengan konfigurasi perangkat keras *SmartBovine* yang dipasangkan pada ternak sapi. Sensor MLX90614 dikalibrasi untuk membaca suhu permukaan tubuh sapi secara non-kontak, MPU6050 dikonfigurasi untuk menangkap akselerasi pergerakan tiga sumbu guna mengidentifikasi pola aktivitas (diam, berjalan, atau makan), dan modul GPS diatur untuk memperbarui koordinat lintang dan bujur secara periodik. Data dari ketiga sensor tersebut diakuisisi oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke Firebase *Realtime Database* melalui jaringan telemetri nirkabel.

Parameter Pengujian

Akurasi Pembacaan Sensor Suhu

Pengujian akurasi sensor MLX90614 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap termometer digital standar medis sebagai kontrol validasi. Pengukuran dilakukan sebanyak sepuluh kali pengulangan pada objek yang sama untuk menghitung persentase tingkat galat (*error rate*). Berikut adalah rumus perhitungan tingkat galat sensor:

$$E = \frac{|T_{\text{sensor}} - T_{\text{kontrol}}|}{T_{\text{kontrol}}} \times 100\%$$

Keterangan:

E = Tingkat galat pembacaan sensor MLX90614 (°C)

T_{sensor} = Nilai suhu yang terbaca oleh sensor MLX90614 (°C)

T_{kontrol} = Nilai suhu yang terbaca oleh termometer kontrol (°C)

Efisiensi Transmisi Data (*Packet Loss*)

Keandalan pengiriman data telemetri dari perangkat IoT ke Firebase diuji dengan menghitung nilai *packet loss* selama durasi operasional tertentu. Parameter ini mengukur kestabilan jaringan komunikasi data yang digunakan oleh perangkat. Berikut perhitungan nilai *packet loss*:

$$\text{Packet Loss} = \frac{P_{\text{ kirim}} - P_{\text{ terima}}}{P_{\text{ kirim}}} \times 100\%$$

Keterangan:

$P_{\text{ kirim}}$ = jumlah total paket data sensor yang dikirim oleh mikrokontroler.

$P_{\text{ terima}}$ = Jumlah total paket data yang berhasil masuk ke basis data Firebase

Performa Model Klasifikasi AI

Pengujian performa model *Computer Vision* pada Roboflow untuk mendeteksi kondisi kesehatan melalui citra feses diukur menggunakan parameter *Precision* dan *Recall* berdasarkan matriks konfusi (*Confusion Matrix*). Evaluasi ini memastikan sistem tidak salah dalam memberikan klasifikasi normal atau abnormal. Berikut rumus pengujian performa AI:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

Keterangan:

TP = Citra abnormal yang terdeteksi dengan benar sebagai abnormal.

FP = Citra normal yang salah terdeteksi sebagai abnormal.

FN = Citra abnormal yang salah terdeteksi sebagai normal.

Uji Akseptansi Pengguna (*User Acceptance Testing*)

Uji kelayakan dan kemudahan antarmuka aplikasi *mobile* dilakukan melalui metode kuesioner dengan melibatkan 25 responden dari kalangan peternak lokal dan pengelola peternakan di Subang. Evaluasi menggunakan skala Likert untuk menilai aspek kegunaan (*usability*), kecepatan respon notifikasi, dan kejelasan informasi peta geolokasi, dengan rentang penilaian: Sangat Tidak Setuju (1), Tidak Setuju (2), Netral (3), Setuju (4), hingga Sangat Setuju (5).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Perangkat Keras

Validasi Sensor Termal (MLX90614)

Sensor MLX90614 adalah sensor inframerah non-kontak yang digunakan untuk mengukur suhu tubuh sapi secara real-time. Validasi akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap termometer standar (termometer air raksa medis) pada rentang suhu biologis sapi (35°C hingga 42°C).

Metode Pengujian: - Sampel uji: 10 titik pembacaan pada berbagai temperatur - Durasi: Pembacaan simultan sensor MLX90614 dan termometer standar - Peralatan referensi: Thermometer air raksa medis (standar akurasi $\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Tabel 1. Hasil validasi sensor MLX90614

Parameter	Termometer Standar (°C)	MLX90614 (°C)	Selisih/Error (°C)	Error (%)
Mean	38.80 ± 2.29	38.78	0.12 ± 0.08	0.31%
Std Dev		2.25		
Min	35.50	35.40	0.00 - 0.20	0.00%
Max	41.80	41.70		0.51%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MLX90614 memiliki Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0.12°C ,

yang berada jauh di bawah ambang toleransi klinis untuk pemantauan kesehatan ternak ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$). Performa akurat ini membuktikan bahwa sensor non-kontak ini sangat layak digunakan untuk deteksi dini kondisi patologis sapi yang ditandai (Sasongko, 2026) dengan perubahan suhu tubuh. Menurut literatur, sapi sehat memiliki suhu tubuh normal berkisar $38,0^{\circ}\text{C}$ hingga $39,0^{\circ}\text{C}$ (Yani et al., 2007). Dengan akurasi 0,31%, sistem SmartBovine dapat mendeteksi deviasi suhu yang mengindikasikan fever (suhu $>40^{\circ}\text{C}$) atau hypothermia (suhu $<37,5^{\circ}\text{C}$) dengan sensitivitas tinggi. Keunggulan sensor MLX90614 (sensor inframerah) adalah kemampuannya mengukur dari jarak aman (3 cm) tanpa kontak fisik, mengurangi stres pada ternak dan meminimalkan risiko transmisi penyakit antar hewan.

Validasi Sensor Gerakan MPU6050

Sensor MPU6050 yang terintegrasi pada sistem digunakan untuk membedakan pola aktivitas sapi antara diam (istirahat/ruminasi) dan aktif (berjalan/gelisah) sebagai indikator kesejahteraan ternak. Validasi dilakukan dengan mengukur magnitudo akselerasi dan giroskop pada kondisi gerak yang terkontrol.

Metode Pengujian:

- Perhitungan magnitudo akselerasi: $a_{\text{mag}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$
- Perhitungan magnitudo giroskop: $g_{\text{mag}} = |g_x| + |g_y| + |g_z|$
- Kondisi pengujian: Statis (diam) dan dinamis (aktif/bergerak)

Tabel 2. Karakteristik sensor gerakan MPU6050

Kondisi Gerakan	Rata-rata a_{mag} (m/s^2)	Rentan g_{mag} (m/s^2)	Rata-rata g_{mag} (rad/s)	Rentan g_{mag} (rad/s)	Status Terdeteksi
Diam / Istirahat	9.81	7.00 - 12.00	0.05	0.00 - 1.50	Diam
Aktif / Gelisah	14.50	< 7.00 atau > 12.00	4.20	> 2.00	Aktif

Pembacaan sensor menunjukkan perbedaan yang signifikan antara dua kondisi aktivitas. Nilai akselerasi pada kondisi istirahat (9.81 m/s^2) mencerminkan efek gravitasi bumi (*gravitational component*), sementara pada kondisi aktif, nilai akselerasi meningkat menjadi 14.50 m/s^2 karena kontribusi gerakan dinamis ternak.

Threshold pemisahan antara kondisi diam dan aktif ditetapkan pada range akselerasi $7.00 - 12.00 \text{ m/s}^2$ untuk diam, dan diluar range tersebut untuk aktif. Logika ini terintegrasi pada firmware ESP32-S3 untuk real-time state classification. Pergerakan (lokomosi) sebagai salah satu dari 5 kategori ANI (Animal Needs Index) adalah indikator kuat kesejahteraan ternak (Nurhayati et al., 2018).

Validasi Sensor PS Neo-6M

Sensor GPS NEO-6M diintegrasikan untuk tracking lokasi real-time sapi dalam rangka deteksi dini kasus hilang ternak atau keluar dari area kandang yang ditentukan (*geofencing*). Pengujian akurasi dilakukan pada berbagai kondisi lingkungan.

Metode Pengujian:

- Metode: Statis pada titik survey yang telah tersertifikasi (benchmark).
- Sampel: 120 data point pembacaan berkala selama 2 jam.
- Kondisi: Udara terbuka, area berkanan pohon (kanopi), dan dalam kandang (struktur seng/atap).

Tabel 3. Akurasi Sensor GPS NEO-6M

Parameter	Udara Terbuka	Di Bawah Kanopi	Dalam Kandang
Rata-rata Margin Error	1.9 meter	3.8 meter	7.2 meter
Satelit Terkunci (Rata-rata)	8 satelit	5 satelit	3 satelit
Status Fix	GPS 3D Fix (Locked)	2D/3D Fix	No Fix / Last Known

Akurasi GPS sangat dipengaruhi oleh visibilitas satelit. Pada kondisi udara terbuka dengan garis lintasan satelit yang jelas, sistem mencapai akurasi ± 1.9 meter, yang memadai untuk aplikasi geofencing kandang dengan radius keamanan 10 meter. Pada kondisi berkanan pohon, error meningkat menjadi ± 3.8 meter karena sinyal satelit tertahangi, dan pada area dalam kandang dengan struktur logam, sinyal GPS hampir tidak dapat diterima (7.2 meter error atau bahkan kehilangan signal).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, firmware SmartBovine mengimplementasikan logika *Last Known Position* — ketika sinyal GPS hilang saat sapi berada dalam kandang, sistem menggunakan koordinat terakhir yang valid dari database. Data geofencing tetap dapat dipantau melalui alert ketika koordinat sebelumnya keluar dari zona aman sebelum signal hilang.

Validasi Konektivitas Seluler SIM 800L

Modul SIM800L GPRS adalah backbone konektivitas data dari ESP32 ke internet. Pengujian konektivitas dilakukan dalam kondisi lapangan nyata selama 48 jam untuk mengukur kekuatan sinyal, latency, dan uptime sistem.

Metode Pengujian:

- Durasi: 48 jam terus-menerus (Subang, Jawa Barat)
- Provider: Operator seluler lokal (3G/GPRS network)
- Monitoring: Kekuatan sinyal (CSQ), waktu koneksi, rekoneksi otomatis

Tabel 4. Performa konektivitas seluler SIM800L GPRS

Parameter	Hasil Pengukuran	Deskripsi Status
Kekuatan Sinyal (CSQ)	22.4 ± 3.1 (Skala 0-31)	Sinyal Bagus / Kuat

Latency GPRS	Koneksi	320 ms (Rata-rata)	Respons cepat untuk jaringan 2G
Uptime Konektivitas		98.2%	Sangat stabil, rekoneksi otomatis

Modul SIM800L menunjukkan performa konektivitas yang sangat baik dengan uptime 98.2% dan sinyal CSQ rata-rata 22.4 dari skala maksimal 31. Latency 320 ms masih termasuk kategori “acceptable” untuk aplikasi IoT non-real-time seperti pengiriman data sensor dengan interval 10 detik. Selama periode pengujian 48 jam, terjadi 0 insiden *hard crash* pada modul; hanya 1 kali insiden temporary signal drop yang berhasil pulih otomatis dalam waktu kurang dari 15 detik melalui mekanisme *firmware reconnect loop*.

Hasil Pengujian dan Konektivitas Data

Transmisi data dari ESP32 menuju backend adalah komponen kritis dalam sistem IoT. Pengujian dilakukan dengan menjalankan pengiriman data sensor secara terus-menerus dalam durasi panjang untuk mengukur success rate, latency, dan packet loss.

Keandalan HTTP POST ke Firebase

Pengujian HTTP POST menggunakan rute: ESP32 → Cloudflare Worker Relay → Firebase Realtime Database. Data dikirim setiap 10 detik dengan payload JSON berisi pembacaan sensor (suhu, akselerasi, GPS, timestamp).

Metode Pengujian:

- Durasi: 40 jam berkelanjutan
- Interval pengiriman: 10 detik per transmisi
- Total paket: 14,400 paket data - Payload size: ~180 bytes per transmisi paket data
- Payload size: 180 bytes per transmisi

Tabel 5. Keandalan HTTP Post ke Firebase

Parameter	Angka Pengujian	Persentase (%)
Total Paket Dikirim	14,400	100%
Sukses (HTTP 200/201)	14,210	98.68%
Gagal / Packet Loss	190	1.32%
Latency Pengiriman (Rata-rata)	380 ms	Min: 220 ms, Max: 1,200 ms
Rekoneksi Otomatis	5 kali kejadian	Pulih 100% sukses

Success rate 98.68% menunjukkan keandalan transmisi yang sangat baik untuk aplikasi monitoring IoT. Packet loss sebesar 1.32% (~190 paket dari 14,400) adalah normal dalam jaringan seluler 2G GPRS dan masih dalam toleransi yang dapat dipulihkan melalui mekanisme retry di sisi firmware. Latency rata-rata 380 ms terdiri dari: (1) waktu processing di ESP32 (~50 ms), (2) waktu transmisi GPRS (~200-300 ms), (3) waktu pemrosesan Cloudflare Worker (~30 ms), dan (4) waktu write Firebase (~50-100 ms).

Insiden rekoneksi otomatis sebanyak 5 kali selama 40 jam (rata-rata setiap 8 jam) adalah normal dan tidak mengindikasikan masalah sistem, melainkan fluktuasi dinamis jaringan seluler. Semua insiden berhasil pulih

otomatis melalui AT command dan TCP reconnect tanpa intervensi manual.

Hasil Pengujian Backend dan Database

Performa Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database berfungsi sebagai penyimpanan real-time dan middleware untuk sinkronisasi data antar komponen sistem (firmware, backend, aplikasi mobile).

Metode Pengujian:

- Platform: Google Firebase Realtime Database
- Query type: Stream read dan write operasi
- Volume data: Rata-rata 360 records per jam per perangkat.

Tabel 6. Performa Firebase Realtime Database

Parameter	Hasil Pengukuran	Deskripsi
Query Response Time (Read/Stream)	45 ms (Rata-rata)	Min: 20 ms, Max: 150 ms
Data Ingestion Rate	360 records/jam	Interval transmisi: 10 detik per perangkat
Efisiensi Penyimpanan	~180 bytes per payload	Struktur JSON teroptimasi

Performa Cloudflare Worker & Backend Relay

Cloudflare Worker berperan sebagai *API Gateway* dan *Relay* untuk menghubungkan ESP32 (limited memory, no HTTPS support) ke Firebase dengan enkripsi TLS.

Tabel 7. Performa Cloudflare Worker & Backend Relay

Parameter	Hasil Pengukuran	Deskripsi
Query Response Time (Read/Stream)	45 ms (Rata-rata)	Min: 20 ms, Max: 150 ms
Data Ingestion Rate	360 records/jam	Interval transmisi: 10 detik per perangkat
Efisiensi Penyimpanan	~180 bytes per payload	Struktur JSON teroptimasi

Latency rata-rata 120 ms pada Cloudflare Worker menunjukkan relay yang efisien. Waktu ini cukup singkat untuk aplikasi monitoring dengan interval data 10 detik. Firebase Realtime Database menunjukkan respons query yang sangat cepat (45 ms), memungkinkan aplikasi mobile Flutter untuk memberikan update data ke dashboard pengguna secara near-real-time dengan latency yang imperceptible.

Hasil Pengujian Model Machine Learning

Model Machine Learning untuk prediksi kondisi kesehatan dan aktivitas sapi merupakan inti dari fitur “smart” dalam sistem SmartBovine.

Dataset dan Metode Pelatihan

Model dilatih menggunakan algoritma Random Forest Classifier dengan spesifikasi: - Total dataset: 2,700 records berlabel (tidak termasuk synthetic data generation) - Kelas kesehatan: Sehat, Sakit, Heat Stress (3 kelas) - Kelas aktivitas: Diam, Aktif (2 kelas) - Split data: 80% training

(2,160 records), 20% testing (540 records) - Feature: Suhu tubuh, akselerasi, giroskop (kombinasi 6 features) - Validasi: K-Fold Cross-Validation (k=5).

Performa Model Kesehatan

Model pertama memprediksi status kesehatan sapi ke dalam 3 kategori: Sehat, Sakit, atau Heat Stress.

Performa Model Aktivitas

Model pertama memprediksi status kesehatan sapi ke dalam 3 kategori: Sehat, Sakit, atau Heat Stress.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengembangan, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem SmartBovine berhasil dikembangkan sebagai sistem monitoring kesehatan dan lokasi sapi berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi mobile.

Sistem SmartBovine mampu mengumpulkan dan menampilkan data suhu tubuh, aktivitas, serta lokasi sapi secara real-time melalui perangkat IoT yang terdiri dari ESP32, sensor MLX90614, sensor MPU6050, modul GPS NEO-6M, dan modul SIM800L. Data yang diperoleh kemudian dikirim dan disimpan pada Firebase sehingga dapat diakses melalui aplikasi mobile oleh peternak.

Aplikasi mobile SmartBovine telah menyediakan berbagai fitur yang mendukung proses monitoring, seperti pemantauan suhu, aktivitas, lokasi sapi, riwayat data, notifikasi kondisi abnormal, serta ringkasan informasi berbasis AI. Fitur-fitur tersebut membantu peternak dalam memantau kondisi ternak secara lebih mudah, cepat, dan efisien tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung setiap saat.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, seluruh fitur utama pada sistem dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Dengan demikian, SmartBovine dapat menjadi salah satu solusi pemanfaatan teknologi IoT dalam mendukung pengelolaan peternakan yang lebih modern dan berbasis data.

Saran

Sistem SmartBovine yang telah dikembangkan masih dapat disempurnakan pada pengembangan selanjutnya. Beberapa pengembangan yang dapat dilakukan antara lain menambahkan sensor untuk memperoleh data kesehatan sapi yang lebih lengkap, meningkatkan kemampuan analisis berbasis AI, serta mengoptimalkan efisiensi daya pada perangkat IoT agar sistem dapat digunakan secara lebih optimal dalam mendukung kegiatan monitoring ternak.

REFERENSI

- [1] Nurhayati, N., Hidayati, N. A., & Afriyansyah, B. (2018). KAJIAN KESEJAHTERAAN SAPI PADA BEBERAPA PETERNAKAN DI KOTA PANGKALPINANG. *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*. doi: 10.33019/EKOTONIA.V2I1.467
- [2] Sasongko, A. (2026). Perancangan Sistem Monitoring Suhu Sapi dan Mengontrol Suhu Sapi Menggunakan Sensor Infrared. *Seminar Nasional Teknologi & Sains*.
- [3] Yani, A., Suhardiyanto, H., Hasbullah, R., & Purwanto, B. P. (2007). Analisis dan Simulasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). *Media Peternakan*.