

Sistem Monitoring Lokasi dan Perilaku Ternak Berbasis IoT Menggunakan GPS, LoRa, dan MPU6050

Nurhidayanti*, Nurhikmah Arifin, Wawan Firgiawan

Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia

Email: ^{1*}jialiaa2233@gmail.com, ²nurhikmah_arifin@unsulbar.ac.id, ³wawanfirgiawan9@gmail.com,

Email Penulis Korespondensi: jialiaa2233@gmail.com*

Submitted: 15/07/2026; Accepted: 26/09/2026; Published: 30/09/2026

Abstrak— Pemantauan ternak secara manual masih menghadapi kendala dalam pengawasan lokasi dan aktivitas ternak secara berkelanjutan, terutama pada peternakan dengan area penggembalaan yang luas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring lokasi dan perilaku ternak sapi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan GPS, LoRa, geofencing, dan sensor MPU6050 yang terintegrasi dengan aplikasi mobile. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, GPS Neo-6M untuk memperoleh koordinat lokasi, MPU6050 untuk mengidentifikasi perilaku sapi, serta LoRa SX1278 sebagai media komunikasi antara perangkat ternak dan gateway. Identifikasi perilaku dilakukan menggunakan metode threshold berdasarkan nilai percepatan pada sumbu Y dan Z dengan tiga klasifikasi, yaitu menunduk, berdiri, dan berjalan. Pengujian dilakukan terhadap identifikasi perilaku, geofencing, dan komunikasi LoRa. Hasil pengujian identifikasi perilaku menunjukkan 72 dari 96 data sesuai dengan kondisi aktual, dengan akurasi sebesar 75% dan tingkat kesalahan sebesar 25%. Kesalahan terutama terjadi pada perilaku menunduk yang teridentifikasi sebagai berjalan atau berdiri. Pengujian geofencing terhadap 31 titik pengamatan menghasilkan 24 data sesuai dengan kondisi aktual, dengan akurasi sebesar 77,42% dan tingkat kesalahan sebesar 22,58%. Pengujian komunikasi LoRa memperoleh nilai RSSI sebesar 76 dBm pada jarak 10 meter, 88 dBm pada 100 meter, dan 102 dBm pada 250 meter, sedangkan pada jarak 1 kilometer data tidak berhasil diterima. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mengintegrasikan pemantauan lokasi, status geofencing, dan identifikasi perilaku ternak melalui aplikasi mobile.

Kata Kunci: Geofencing; Internet of Things; LoRa; GPS; Monitoring Ternak; MPU6050.

Abstract— Manually livestock monitoring still faces challenges in continuously tracking the location and activities of livestock, particularly on farms with extensive grazing areas. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT) based system for monitoring the location and behavior of cattle using GPS, LoRa, geofencing, and an MPU6050 sensor integrated with a mobile application. The system uses an ESP32 as the microcontroller, a Neo-6M GPS module to obtain location coordinates, an MPU6050 to identify cattle behavior, and an SX1278 LoRa module as the communication medium between the livestock devices and the gateway. Behavior identification is performed using a threshold method based on acceleration values along the Y and Z axes, with three classifications: lying down, standing, and walking. Tests were conducted on behavior identification, geofencing, and LoRa communication. The behavior identification test results showed that 72 out of 96 data points matched the actual conditions, with an accuracy of 75% and an error rate of 25%. Errors primarily occurred with the crouching behavior, which was misidentified as walking or standing. Geofencing testing at 31 observation points yielded 24 data points that matched the actual conditions, with an accuracy of 77.42% and an error rate of 22.58%. LoRa communication testing yielded RSSI values of 76 dBm at a distance of 10 meters, 88 dBm at 100 meters, and 102 dBm at 250 meters; however, data could not be received at a distance of 1 kilometer. The research results indicate that the system can integrate location monitoring, geofencing status, and livestock behavior identification through a mobile application.

Keywords: Geofencing; Internet of Things; LoRa; GPS; Cattle Monitoring; MPU6050.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memberikan dampak yang signifikan pada berbagai sektor [1], termasuk sektor peternakan. Pergeseran menuju pertanian cerdas (*smart farming*), memungkinkan pemantauan ternak secara *real-time* sehingga secara signifikan meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Menurut laporan Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (FAO), permintaan global akan daging diproyeksikan meningkat lebih dari 70% hingga tahun 2050 seiring dengan pertumbuhan populasi dunia [2]. Di Indonesia, data Badan Pusat Statistik (BPS) populasi sapi potong pada tahun 2024 telah mencapai lebih dari 13 juta ekor [3]. Meskipun demikian, tingkat produktivitas peternakan masih tergolong rendah karena berbagai kendala dalam sistem pengelolaan ternak, khususnya pada peternakan tradisional di daerah pedesaan serta usaha peternakan skala kecil hingga menengah [4].

Permasalahan yang sering di hadapi oleh para peternak meliputi kehilangan ternak akibat lepas dari area penggembalaan, keterbatasan dalam melakukan pemantauan secara terus menerus, serta keterlambatan dalam mendeteksi perubahan perilaku ternak yang dapat menjadi indikasi awal gangguan Kesehatan [5]. Pada sistem peternakan konvensional, pengawasan masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan banyak tenaga, waktu, dan biaya operasional. Selain itu, lokasi peternakan yang berada di daerah terpencil sering kali menyulitkan proses pengawasan secara optimal. Kondisi ini menyebabkan resiko kerugian ekonomi yang cukup besar bagi peternak apabila ternak hilang, atau tidak terpantau dengan baik [6]. Salah satu pendekatan yang semakin dikembangkan untuk mengatasi masalah-masalah ini adalah penerapan teknologi *geofencing* berbasis *Global Positioning System* (GPS) yang dikombinasikan dengan teknologi komunikasi jarak jauh seperti *LoRa* (*Long*

Range) [7]. Teknologi *geofencing* memungkinkan pembuatan batas virtual untuk area peternakan sehingga sistem dapat secara otomatis mendeteksi apabila ternak keluar dari zona aman yang telah ditentukan. Ketika hal tersebut terjadi, sistem dapat mengirimkan peringatan dalam bentuk notifikasi kepada peternak jika ternak keluar dari zona yang telah ditentukan sehingga tindakan penanganan dapat dilakukan dengan lebih cepat [8]. Pendekatan ini dapat menjadi salah satu *alternatif* dalam membantu mengurangi risiko kehilangan ternak, terutama pada sistem penggembalaan terbuka.[9]

Sementara itu, teknologi *LoRa* menawarkan solusi komunikasi yang efisien karena kemampuan menjangkau area yang luas dengan komunikasi daya yang rendah. Teknologi ini sangat cocok diterapkan untuk lingkungan peternakan di daerah pedesaan atau wilayah terpencil yang memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan internet. Dibandingkan dengan teknologi komunikasi lainnya seperti Wi-Fi atau GSM yang membutuhkan daya lebih besar dengan jangkauan yang terbatas, *LoRa* menjadi pilihan yang lebih hemat energi dan ekonomis untuk sistem pemantauan ternak berbasis IoT [10].

Selain pemantauan lokasi, monitoring gerak ternak juga menjadi aspek penting dalam mendukung pengawasan ternak secara optimal. Monitoring gerak ternak dapat dilakukan menggunakan sensor accelerometer yang mampu mendeteksi perubahan Gerakan dan aktivitas ternak secara *real-time*. Sensor accelerometer bekerja dengan mengukur percepatan gerak pada tiga sumbu X,Y, dan Z, sehingga dapat memberikan informasi mengenai aktivitas pergerakan ternak [11]. Data gerakan tersebut dapat dimanfaatkan oleh peternak untuk mengetahui kondisi aktivitas ternak selama berada di area penggembalaan. Penggunaan teknologi GPS yang dikombinasikan dengan sensor accelerometer memberikan solusi yang lebih efektif dalam sistem monitoring ternak berbasis IoT [12]. GPS digunakan untuk mengetahui posisi ternak secara *real-time*, sedangkan accelerometer digunakan untuk memantau aktivitas gerak ternak. Integrasi kedua teknologi tersebut memungkinkan peternak memperoleh informasi lokasi dan pergerakan ternak melalui aplikasi mobile secara lebih mudah dan efisien. Dengan adanya sistem monitoring berbasis aplikasi mobile, peternak dapat melakukan pengawasan kapan saja dan dimana saja tanpa harus berada langsung di lokasi peternakan[13].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan teknologi serupa dalam bidang peternakan cerdas. Penelitian yang dilakukan oleh Subhan Ardhimana dkk. Merancang sistem pendeteksi keberadaan sapi berbasis mikrokontroler menggunakan Wemos D1 dan GPS Neo6 yang terhubung dengan aplikasi Blynk pada smartphone. Sistem ini mampu menampilkan lokasi sapi secara *real-time* serta dilengkapi buzzer untuk memudahkan pencarian ternak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat membantu peternak dalam memantau lokasi sapi secara lebih efisien. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada pelacakan lokasi dan belum menerapkan sistem *geofencing* maupun komunikasi *LoRa* untuk area peternakan terpencil [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Mufthatur Rahmah dkk. Mengembangkan sistem monitoring lokasi ternak sapi berbasis Android menggunakan NodeMCU V3 dan GPS Ublox Neo-6M. Sistem ini dirancang untuk membantu peternak memantau keberadaan sapi secara *real-time* melalui *smartphone*, terutama pada sistem penggembalaan lepas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki kualifikasi sangat baik berdasarkan pengujian *functionality*, *portability*, *usability*, dan *performance efficiency*, serta memperoleh respon positif dari masyarakat peternak. Namun, penelitian ini masih berfokus pada monitoring lokasi ternak dan belum menerapkan fitur *geofencing* untuk memberikan notifikasi otomatis ketika sapi keluar dari zona aman, serta belum mengintegrasikan komunikasi *LoRa* dan deteksi perilaku ternak menggunakan sensor accelerometer[15].

Adapun penelitian lainnya Penelitian mengenai Animal Tracking berbasis Internet of Things (IoT) dilakukan oleh Arta dkk dengan memanfaatkan GPS, NodeMCU, komunikasi *LoRa*, Firebase, dan aplikasi Kodular untuk memantau keberadaan serta kondisi hewan. Sistem tersebut juga menerapkan *geofencing* untuk menentukan posisi hewan terhadap area yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembaruan informasi lokasi memiliki rata-rata waktu sekitar 4,6 detik. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini tidak hanya memantau lokasi ternak, tetapi juga mengidentifikasi perilaku sapi menggunakan sensor MPU6050 serta mengintegrasikan pemantauan lokasi dan perilaku melalui aplikasi mobile. Namun penelitian ini mengintegrasikan pemantauan lokasi dan *geofencing* dengan identifikasi perilaku sapi menggunakan sensor MPU6050, dengan klasifikasi perilaku berupa menunduk, berdiri, dan berjalan, serta hasil pemantauan ditampilkan melalui aplikasi mobile berbasis Flutter.[16]

Penelitian yang dilakukan oleh Nasir dkk. merancang sistem monitoring hewan peliharaan berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan modul GPS NEO-6M V2 dan NodeMCU ESP8266. Sistem tersebut digunakan untuk memantau dan melacak lokasi kucing secara *real-time*, dengan data koordinat *latitude* dan *longitude* yang diproses oleh NodeMCU kemudian disimpan pada database dan ditampilkan melalui website. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat membantu pemilik dalam mengetahui posisi hewan peliharaan secara lebih mudah. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada pemantauan lokasi hewan dan belum mencakup identifikasi perilaku, komunikasi *LoRa*, maupun penerapan *geofencing* seperti yang diterapkan pada penelitian ini[11].

Penelitian yang dilakukan oleh Furqon Andika dkk mengenai “Sistem Pemantauan Pergerakan Gajah Berbasis Geofencing Menggunakan Teknologi *LoRa*” membahas penerapan teknologi *geofence* dan komunikasi *LoRa* untuk mendukung pemantauan pergerakan gajah. Pemanfaatan *geofencing* memungkinkan sistem menentukan keberadaan hewan berdasarkan batas wilayah yang telah ditentukan, sedangkan teknologi *LoRa* digunakan untuk mendukung komunikasi data dalam proses pemantauan. Penelitian tersebut menunjukkan adanya

pemanfaatan teknologi komunikasi jarak jauh dan *geofencing* dalam pemantauan pergerakan hewan. Namun, penelitian tersebut berfokus pada pemantauan pergerakan gajah dan belum mengintegrasikan identifikasi perilaku sapi menggunakan sensor MPU6050. Hal tersebut menjadi salah satu dasar penelitian ini untuk mengintegrasikan GPS, LoRa, *geofencing*, dan identifikasi perilaku sapi dalam satu sistem monitoring berbasis aplikasi mobile. [17]

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, penerapan IoT pada peternakan telah banyak digunakan untuk pemantauan lokasi dan kondisi ternak. Namun, masih terdapat keterbatasan pada integrasi fungsi pemantauan lokasi, *geofencing*, komunikasi jarak jauh, dan identifikasi perilaku ternak dalam satu sistem. Beberapa penelitian telah menerapkan GPS untuk mengetahui posisi ternak, sedangkan penelitian lainnya telah memanfaatkan LoRa dan *geofencing* untuk mendukung pemantauan pada area yang luas. Di sisi lain, pemanfaatan sensor accelerometer juga telah digunakan untuk memperoleh informasi aktivitas ternak. Meskipun demikian, integrasi GPS, LoRa, *geofencing*, dan sensor MPU6050 yang secara khusus digunakan untuk memantau lokasi sekaligus mengidentifikasi perilaku sapi melalui aplikasi mobile masih memiliki ruang untuk dikaji lebih lanjut. Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa sistem pemantauan ternak perlu mempertimbangkan keterbatasan komunikasi dan kondisi lingkungan karena faktor tersebut dapat memengaruhi keberhasilan pengiriman data.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi GPS, komunikasi LoRa, *geofencing*, dan sensor MPU6050 dalam satu sistem monitoring ternak sapi berbasis aplikasi mobile. GPS digunakan untuk memperoleh koordinat lokasi ternak, *geofencing* digunakan untuk menentukan status posisi ternak terhadap zona yang telah ditentukan, sedangkan LoRa digunakan sebagai media komunikasi untuk mengirimkan data dari perangkat ternak ke *gateway*. Sensor MPU6050 digunakan untuk mengidentifikasi perilaku sapi berdasarkan pola pergerakan dengan klasifikasi menunduk, berdiri, dan berjalan. Dengan integrasi tersebut, sistem tidak hanya memberikan informasi mengenai lokasi ternak, tetapi juga menyediakan informasi mengenai status *geofencing* dan perilaku ternak dalam satu aplikasi mobile.

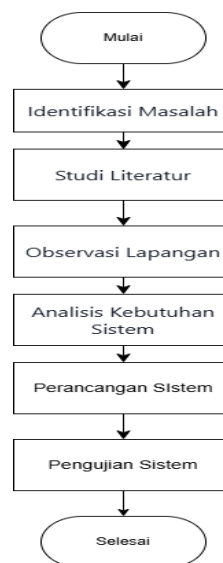
Untuk mengetahui kemampuan sistem yang dirancang, penelitian ini melakukan evaluasi terhadap tiga aspek utama, yaitu akurasi identifikasi perilaku ternak, ketepatan sistem *geofencing* dalam menentukan status posisi ternak, dan kinerja komunikasi LoRa berdasarkan jarak pengiriman data. Akurasi identifikasi perilaku diperoleh melalui perbandingan antara perilaku aktual berdasarkan pengamatan langsung dengan hasil klasifikasi sistem. Pengujian *geofencing* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menentukan status ternak berada di dalam atau di luar zona yang telah ditentukan, sedangkan pengujian komunikasi LoRa dilakukan pada beberapa jarak untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data dan kualitas sinyal komunikasi.

Berdasarkan permasalahan dan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *geofencing* dan deteksi perilaku ternak sapi menggunakan GPS dan LoRa berbasis aplikasi mobile. Kontribusi penelitian ini meliputi integrasi pemantauan lokasi dan perilaku ternak secara *real-time*, penerapan *geofencing* untuk mengetahui status keberadaan ternak terhadap zona pemantauan, serta evaluasi kinerja komunikasi LoRa pada lingkungan pengujian. Hasil pengujian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan lokasi dan perilaku sapi secara terpadu serta menjadi alternatif penerapan teknologi IoT untuk mendukung pemantauan ternak pada peternakan dengan area yang luar.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan menerapkan model *Waterfall* yang mencakup tahapan Identifikasi masalah, Studi literatur, Observasi lapangan, Analisis kebutuhan Sistem, Perancangan sistem, Pengujian sistem [18]. Dalam judul Sistem monitoring lokasi dan perilaku ternak berbasis IoT menggunakan GPS, LoRa dan MPU6050 ini dilaksanakan dalam beberapa tahap utama, yaitu desain perangkat keras dan perangkat lunak. Selama tahap desain perangkat keras, fokus pengembangan dibagi menjadi empat komponen utama, yakni integrasi ESP32, Modul LoRa, GPS module, Sensor Accelerometer MPU6050. Selanjutnya Rancangan Software, terbagi menjadi 2, yaitu: Instalasi Arduino IDE dan perancangan aplikasi mobile sebagai antarmuka pengguna.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada Gambar 1. Flowchart Penelitian, terlihat rangkaian kegiatan penelitian yang dimulai dari proses studi Literatur hingga pengujian sistem. *Flowchart* tersebut menggambarkan 6 tahapan. Setiap blok dalam *flowchart* menunjukkan urutan logis yang dimulai peneliti selama proses pengembangan, sementara tanda panah menunjukkan keterikatan antar tahapan dalam model *Waterfall*.

a. Identifikasi Masalah

Tahap awal ini merupakan fondasi utama dari seluruh penelitian. Peneliti menganalisis fenomena di lapangan terkait manajemen peternakan sapi konvensional yang masih menghadapi kendala dalam pengawasan lokasi dan Kesehatan ternak secara real-time. Masalah utama yang diangkat mencakup risiko kehilangan ternak (pencurian atau tersesat) serta keterlambatan deteksi perilaku anomaly yang mengindikasikan gangguan Kesehatan. Melalui tahap ini, peneliti merumuskan urgensi pengembangan sistem yang mampu melakukan pemantauan jarak jauh tanpa bergantung pada infrastruktur seluler yang terbatas di area pedesaan.

b. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, dilakukan pengumpulan dan analisis kritis terhadap berbagai sumber referensi ilmiah seperti jurnal, buku, dan web terpercaya. Fokus studi ini meliputi teori dasar sistem posisi global (GPS), karakteristik propagasi sinyal pada teknologi *Long Tange* (LoRa) sebagai media transmisi data nirkabel jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, serta metodologi *geofencing* untuk pembatasan wilayah virtual. Selain itu, peneliti mengkaji algoritma deteksi perilaku berbasis data akselerometer untuk mengklasifikasikan aktivitas ternak seperti sedang Menunduk, berjalan, atau berdiam diri. Studi ini krusial untuk menentukan parameter teknis dan menghindari redundansi penelitian.

c. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh data mengenai kondisi lingkungan dan karakteristik perilaku sapi sebagai dasar dalam menentukan parameter klasifikasi. Pengamatan dilakukan menggunakan satu ekor sapi selama 8 jam dengan pembacaan Sensor MPU6050 setiap 1 menit sedangkan pencatatan perilaku aktual di catat setiap 5 menit sehingga diperoleh 12 data dalam sejamnya dari hasil pengamatan tersebut diperoleh 96 data perilaku aktual sebagai acuan pengujian sistem. Pengamatan perilaku dilakukan secara langsung terhadap tiga aktivitas sapi, yaitu menunduk, berdiri, dan berjalan. Hasil pengamatan langsung digunakan untuk dibandingkan dengan hasil klasifikasi sistem. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengamati perubahan nilai percepatan pada setiap sumbu selama sapi melakukan ketiga aktivitas tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data sensor, sumbu Y dan Z menunjukkan pola yang lebih sesuai untuk membedakan aktivitas sapi sehingga digunakan sebagai parameter utama dalam penentuan threshold, sedangkan data pada sumbu X tetap direkam sebagai data keluaran sensor [10]. Berdasarkan hasil kalibrasi, diperoleh threshold untuk klasifikasi perilaku, yaitu aktivitas menunduk ketika nilai $Y > 0$, aktivitas berjalan ketika nilai $Y < -4000$ dan $Z > -1500$, sedangkan aktivitas berdiri ditentukan apabila data sensor tidak memenuhi kedua kondisi tersebut. *Threshold* tersebut kemudian diterapkan pada ESP32 untuk melakukan klasifikasi perilaku secara otomatis.

Tahap ini melibatkan identifikasi spesifikasi terhadap kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Kebutuhan perangkat keras mencakup pemilihan mikrokontroler hemat energi seperti ESP32, Modul LoRa, GPS module, Sensor Accelerometer MPU6050. Dari sisi perangkat lunak, dilakukan analisis mengenai kebutuhan fungsional aplikasi mobile, seperti fitur visualisasi peta koordinat, notifikasi peringatan saat sapi keluar jalur (*geofencing violation*), dan dasbor status perilaku ternak. Analisis ini

memastikan bahwa seluruh spesifikasi teknis mampu memenuhi standar operasional pemantauan ternak secara kontinu.

d. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan tahap penerjemahan hasil analisis kedalam desain teknis yang komprehensif. Tahap ini mencakup perancangan skematik elektronik untuk *end-node* yang akan dipasangkan pada kalung sapi, perancangan arsitektur jaringan LoRa dari node ke gateway hingga keserver cloud, serta perancangan antarmuka pengguna (UI/UX) pada aplikasi Android. Logika program untuk algoritma *geofencing* dan pemrosesan data sensor dirancang sedemikian rupa untuk memastikan efisiensi daya baterai pada perangkat *wearable* ternak, mengingat sistem ini diharapkan beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa penggantian baterai yang sering.

e. Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memantau lokasi dan perilaku ternak serta menguji komunikasi data antara *node* dan *gateway*.

1. Pengujian perilaku dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi perilaku oleh sistem dengan kondisi aktual (pengamatan langsung). Kondisi aktual ditentukan melalui pengamatan langsung terhadap aktivitas sapi pada saat pengambilan data. Pengamatan dilakukan menggunakan satu ekor sapi selama 8 jam dengan pembacaan Sensor MPU6050 setiap 1 menit sedangkan pencatatan perilaku aktual di catat setiap 5 menit sehingga menghasilkan 12 data dalam 1 jamnya dan dari hasil pengamatan tersebut diperoleh 96 data perilaku aktual sebagai acuan pengujian sistem. Setiap hasil klasifikasi sistem dibandingkan dengan hasil observasi langsung dan dikategorikan benar apabila perilaku yang dihasilkan sistem sesuai dengan perilaku aktual. Kinerja *klasifikasi* dievaluasi menggunakan metrik akurasi dan error. Ada pun hasil data yang di ambil dalam 1 jam

Tabel 1. Hasil pembacaan sistem dan pencatatan aktual selama 1 jam

Timer	Status aktual	Status sistem	Valid
9:05:40.00	Menunduk	Menunduk	yes
9:10:15.14	Berjalan	Berjalan	yes
9:15:18.68	Berdiri	Berdiri	yes
9:20:09.94	Menunduk	Menunduk	yes
9:25:40.57	Berjalan	Berdiri	no
9:30:15.53	Menunduk	Menunduk	yes
9:35:47.64	Berjalan	Berdiri	no
9:40:09.23	Menunduk	Berjalan	no
9:45:19.66	Berdiri	Berdiri	yes
9:50:25.00	Berdiri	Berdiri	yes
9:55:21.50	Berdiri	Berdiri	yes
10:00:25.11	Berdiri	Berdiri	yes

2. Pengujian geofencing dilakukan sebanyak 31 pengamatan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menentukan posisi sapi terhadap batas area yang telah ditentukan dengan posisi sapi ada pada area padang rumput. Setiap pengamatan dilakukan dengan membandingkan kondisi aktual sapi terhadap status geofencing yang ditampilkan oleh sistem, yaitu "Dalam Area" atau "Keluar Area". Pengujian juga mencakup pemeriksaan notifikasi pada aplikasi mobile ketika sistem mendeteksi sapi berada di luar batas geofence. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui kesesuaian status geofencing sistem dengan kondisi aktual.
3. Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk mengetahui kemampuan pengiriman data dari node ke gateway pada jarak 10 meter, 100 meter, 250 meter, dan 1 kilometer. Pengujian mengirimkan data melalui komunikasi LoRa pada setiap jarak pengujian mengamati keberhasilan data diterima oleh gateway serta nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kekuatan sinyal dan keberhasilan komunikasi. Pada jarak 1 kilometer, pengujian dinilai berdasarkan ada atau tidaknya data yang berhasil diterima oleh *gateway*.
4. Pengujian aplikasi mobile dilakukan secara fungsional untuk memastikan fitur utama sistem dapat berjalan sesuai rancangan. Pengujian meliputi pemantauan lokasi dan perilaku ternak serta penerimaan notifikasi ketika sapi terdeteksi berada di luar area *geofencing*. Pengujian dinyatakan berhasil apabila data monitoring dapat ditampilkan pada aplikasi dan notifikasi keluar area dapat diterima ketika kondisi tersebut terjadi.

2.2 Identifikasi Aktivitas Sapi

Penelitian ini menggunakan sensor MPU6050 yang dilengkapi dengan *akselerometer* tiga sumbu, untuk mengidentifikasi aktivitas yang dilakukan sapi selama proses Menunduk. Sensor tersebut dipasang pada perangkat yang dikalungkan di tubuh sapi, sehingga memungkinkan sensor tersebut merekam perubahan percepatan secara

terus-menerus sepanjang sumbu AX, AY, dan AZ. Data percepatan yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan aktivitas yang sedang dilakukan oleh sapi. Aktivitas-aktivitas ini meliputi berdiri, berjalan, menunduk[19].

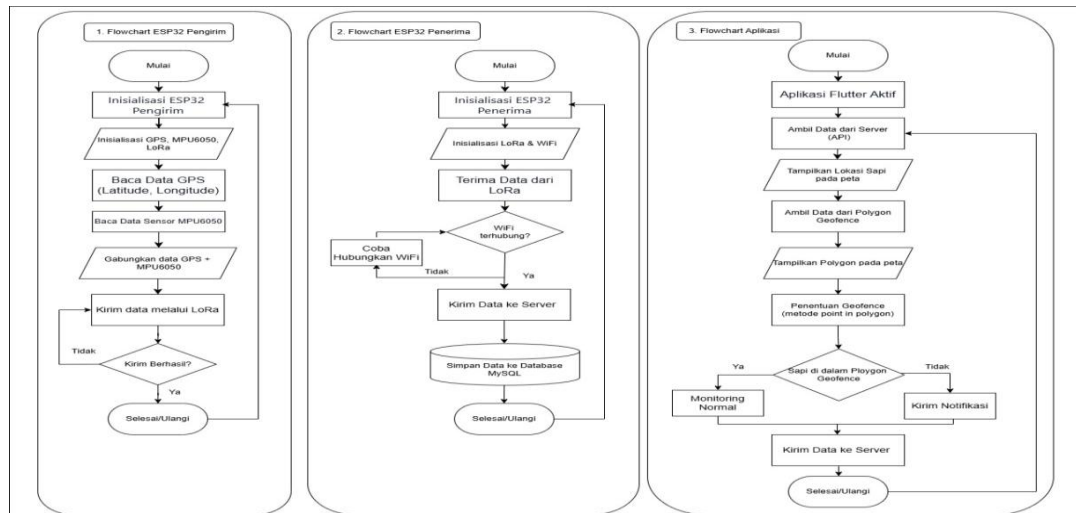
Identifikasi aktivitas sapi dilakukan menggunakan metode *threshold* berdasarkan hasil *kalibrasi* sensor MPU6050 dan pengamatan langsung terhadap perilaku sapi. MPU6050 dipasang pada bagian leher sapi untuk memperoleh nilai percepatan pada sumbu AX, AY, dan AZ. Aktivitas yang diamati dalam penelitian ini terdiri atas tiga kelas, yaitu menunduk, berdiri, dan berjalan. Berdasarkan hasil pengamatan, perubahan nilai pada sumbu AY dan AZ menunjukkan pola yang lebih konsisten dalam membedakan aktivitas, sehingga kedua sumbu tersebut digunakan sebagai parameter utama dalam proses *klasifikasi*. Sumbu AX tetap direkam dan digunakan dalam perhitungan total percepatan, tetapi tidak digunakan secara langsung sebagai parameter *threshold* karena perubahan nilainya tidak menunjukkan pola yang konsisten dalam membedakan aktivitas sapi. Penentuan nilai *threshold* dilakukan dengan membandingkan data keluaran MPU6050 dengan kondisi aktivitas sapi yang diamati secara langsung. Berdasarkan hasil kalibrasi, aktivitas menunduk ditentukan ketika nilai percepatan pada sumbu AY > 0. Aktivitas berjalan ditentukan ketika nilai percepatan pada sumbu AY < -4000 dan AZ > -1500. Sementara itu, aktivitas berdiri ditentukan apabila data sensor tidak memenuhi kondisi menunduk dan berjalan. Nilai *threshold* tersebut diperoleh berdasarkan pola nilai sensor yang diamati selama proses *kalibrasi* dan kemudian diterapkan pada program ESP32 untuk melakukan *klasifikasi* aktivitas secara otomatis. Proses *klasifikasi* dilakukan secara berurutan dengan memeriksa kondisi menunduk, kemudian berjalan, sedangkan kondisi yang tidak memenuhi kedua *threshold* tersebut dikategorikan sebagai berdiri. Hasil *klasifikasi* sistem selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengamatan langsung sebagai ground truth untuk mengetahui tingkat kesesuaian identifikasi aktivitas. Nilai ambang batas ini kemudian diimplementasikan dalam program ESP32 sehingga proses identifikasi aktivitas dapat dilakukan secara otomatis dan real-time [16]. Setelah suatu aktivitas berhasil diidentifikasi, informasi perilaku tersebut digabungkan dengan data koordinat lokasi yang diperoleh dari modul GPS Neo-6M. Selanjutnya, data ini dikirimkan melalui komunikasi LoRa ke modul ESP32 penerima dan diteruskan ke server melalui jaringan Wi-Fi. Data yang disimpan dalam basis data kemudian diakses oleh aplikasi seluler melalui Application Programming Interface (API), sehingga pengguna dapat memantau lokasi dan aktivitas ternak secara real-time [17]. Berdasarkan alur kerja sistem pada Gambar 2, proses identifikasi aktivitas dimulai dengan pembacaan data dari sensor MPU6050, diikuti dengan *klasifikasi* menggunakan metode ambang batas berdasarkan nilai percepatan sepanjang sumbu Y dan Z. Hasil identifikasi kemudian digabungkan dengan data koordinat GPS sebelum dikirimkan melalui jaringan LoRa ke perangkat penerima.

2.3 Pemantauan Posisi dan Area Pengembalaan

Selain mengidentifikasi aktivitas, penelitian ini juga melacak lokasi sapi-sapi tersebut menggunakan modul GPS yang dipasang pada pengirim. Modul GPS tersebut memberikan koordinat *latitude* dan *longitude*, yang digunakan untuk menentukan lokasi sapi-sapi tersebut secara real time. Koordinat lokasi yang diperoleh dari GPS digabungkan dengan data aktivitas dari sensor MPU6050, lalu dikirimkan melalui LoRa ke penerima ESP32. Data tersebut kemudian diteruskan ke server melalui jaringan Wi-Fi dan disimpan dalam basis data MySQL agar dapat diakses oleh aplikasi Flutter. Aplikasi Flutter secara berkala mengambil data dari server melalui *Application Programming Interface* (API) untuk menampilkan lokasi sapi-sapi tersebut pada peta digital. Selain menampilkan lokasinya, aplikasi ini juga memverifikasi posisi sapi-sapi tersebut menggunakan metode *polygon geofence* yang sebelumnya telah ditentukan oleh pengguna sebagai batas-batas area pengembalaan.

Proses *geofencing* dilakukan dengan menggunakan area berbentuk *polygon* yang ditentukan berdasarkan beberapa titik koordinat sebagai batas wilayah pemantauan. Koordinat posisi sapi yang diperoleh dari GPS digunakan sebagai titik yang akan diuji terhadap batas *polygon* menggunakan metode *point-in-polygon* untuk menentukan apakah posisi sapi berada di dalam atau di luar area pemantauan. Apabila titik koordinat berada di dalam *polygon*, sistem menetapkan status “Dalam Area”, sedangkan apabila titik berada di luar *polygon*, sistem menetapkan status “Keluar Area” dan memberikan notifikasi kepada pengguna. Pembaruan posisi dilakukan berdasarkan koordinat GPS yang diterima oleh sistem, kemudian setiap koordinat baru digunakan untuk memperbarui status *geofencing*. Pada pengujian, kondisi aktual ditentukan berdasarkan posisi sapi terhadap batas area *polygon* dan digunakan sebagai ground truth untuk dibandingkan dengan hasil *klasifikasi* sistem. Penentuan status dilakukan berdasarkan hasil koordinat GPS terhadap batas *polygon* tanpa menerapkan toleransi tambahan di luar batas yang telah ditentukan. Mekanisme ini memungkinkan pemilik ternak memantau hewan-hewan mereka dari jarak jauh dan menerima peringatan langsung jika hewan-hewan tersebut bergerak keluar dari area pemantauan yang telah ditentukan [18].

Secara umum, proses pemantauan lokasi dimulai dengan merekam koordinat GPS pada pemancar ESP32, mengirimkan data melalui LoRa, menyimpan data di server, lalu menganalisis posisi dan mengirimkan pemberitahuan ke aplikasi Flutter jika terjadi pelanggaran *geofence*.



Gambar 2. Flowchart Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini membahas hasil implementasi dan pengujian sistem geofencing berbasis Internet of Things (IoT) serta sistem pendeteksian perilaku ternak. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memantau lokasi ternak menggunakan teknologi geofencing, mengidentifikasi perilaku ternak berdasarkan data sensor MPU6050, serta mentransmisikan data melalui komunikasi LoRa SX1278. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan apakah sistem yang dirancang mampu berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian.

Bagian pertama menjelaskan implementasi sistem, yang mencakup komponen perangkat keras dan perangkat lunak dari lingkungan pengujian. Fase ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua komponen sistem terintegrasi dan berfungsi dengan baik. Selanjutnya, bagian kedua menyajikan hasil pengujian sistem, yang mencakup pengujian komunikasi LoRa, analisis pola perilaku ternak, dan perbandingan hasil identifikasi perilaku antara sistem dan pengamatan aktual. Hasil dari setiap pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan kinerja dan keandalan sistem yang dikembangkan.

3.1 Implementasi Sistem Monitoring Ternak Sapi

Pada tahap ini, sistem pemantauan ternak telah diterapkan, yang terdiri dari pengirim, penerima, server, dan aplikasi pemantauan berbasis Flutter. Sistem ini dirancang untuk memantau lokasi dan perilaku ternak secara real-time menggunakan modul GPS dan sensor MPU6050 yang terhubung ke ESP32 pada pemancar. Data yang dikumpulkan kemudian dikirim melalui LoRa ke ESP32 pada penerima dan diteruskan ke server melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 3. Perangkat pengirim yang dipasang pada ternak sapi

3.2 Implementasi Sistem

Aplikasi pemantauan ini dikembangkan menggunakan kerangka kerja Flutter dan dirancang untuk menampilkan informasi secara real-time mengenai lokasi dan aktivitas ternak. Data yang ditampilkan dalam aplikasi ini diambil dari server melalui API yang terhubung ke basis data MySQL. Informasi yang ditampilkan meliputi posisi ternak pada peta digital, koordinat lokasi (latitude dan longitude), status aktivitas ternak berdasarkan pembacaan sensor MPU6050, serta informasi mengenai status ternak di dalam area geofence yang telah ditentukan sebelumnya.

3.2.1 Pengujian Sistem

Pada tahap ini, sistem di uji secara langsung pada smartphone dengan sistem operasi android 11 untuk mengetahui apakah berjalan sistem berjalan dengan baik atau tidak. Pada pengujian ini dilakukan dengan melakukan perlihatkan ketika sapi berada di dalam atau di luar wilayah geofencing yang telah di tentukan.

3.2.1.1 Tampilan Awal Aplikasi

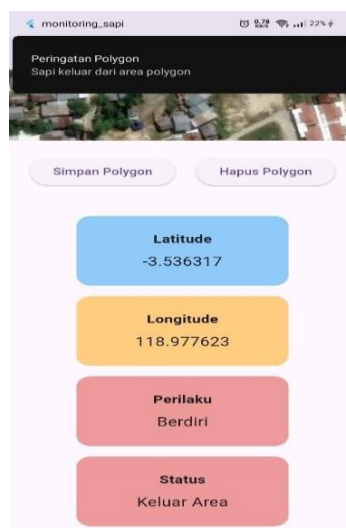
Pada saat aplikasi dijalankan maka akan muncul seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Tampilan halaman utama aplikasi monitoring ternak sapi

3.2.1.2 Tampilan Notifikasi Sapi keluar area

Apabila sistem mendeteksi sapi keluar dari area geofencing yang telah di tentukan sebelumnya maka sistem akan mengirim peringatan berupa notifikasi bahwa sapi keluar dari area. Seperti yang terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Notifikasi ketika sapi keluar dari area pengawasan

3.3 Hasil Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa pengujian dan pada tahap ini menjelaskan hasil uji dari beberapa yang telah dilakukan. Pada tabel 2 merupakan hasil Pengujian komunikasi antara node dan gateway dilakukan pada beberapa jarak: 10 meter, 100 meter, 250 meter, dan 1 kilometer. Pengujian ini dilaksanakan di lingkungan yang dipenuhi pepohonan dan beberapa rumah yang mengelilingi area pengujian, sehingga kondisi komunikasinya ditandai dengan banyaknya hambatan dan tidak sepenuhnya berada dalam garis pandang langsung.

Tabel 2. Hasil Uji Coba Node-Gateway

Jarak (m)	RSSI(dbm)
10	-76
100	-88
250	-102

Hasil pengujian pada table 2 menunjukkan bahwa pada jarak 10 meter, diperoleh nilai RSSI sebesar -76 dBm, yang mengindikasikan bahwa kualitas sinyal berada dalam kategori “baik” dan transmisi data stabil. Pada jarak 100 meter, nilai RSSI menurun menjadi -88 dBm; namun, komunikasi antara node dan gateway masih berfungsi dengan baik tanpa kehilangan paket data yang signifikan. Pada jarak 250 meter, tercatat nilai RSSI sebesar -102 dBm. Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal berada dalam kategori lemah, meskipun data masih dapat diterima oleh gateway. Penurunan nilai RSSI dipengaruhi oleh bertambahnya jarak komunikasi serta adanya hambatan seperti pohon dan bangunan, yang menyebabkan atenuasi dan penyerapan sinyal selama transmisi.

Sementara itu, pada pengujian pada jarak 1 kilometer, tidak ada data yang berhasil diterima oleh gateway. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam lingkungan pengujian yang dipenuhi pohon dan bangunan perumahan, sinyal yang ditransmisikan mengalami atenuasi yang signifikan, sehingga tidak memungkinkan untuk mempertahankan komunikasi antara node dan gateway pada jarak tersebut. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengujian, jangkauan komunikasi efektif sistem dalam kondisi lingkungan tersebut adalah hingga 250 meter dengan nilai RSSI sebesar -102 dBm.

Untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menentukan perilaku ternak dan menentukan status geofencing, digunakan metode pengukuran akurasi dengan membandingkan hasil identifikasi sistem terhadap kondisi aktual yang diperoleh melalui observasi langsung. Nilai akurasi dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ prediksi\ benar}{Jumlah\ Seluruh\ Data} \times 100\%$$

Keterangan:

Jumlah Prediksi Benar = jumlah data yang sesuai antara hasil sistem dan kondisi aktual.

Jumlah Seluruh Data = seluruh data pengujian.

Sedangkan tingkat kesalahan dihitung menggunakan persamaan (1) di bawah:

$$Error\ Rate = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Salah}{Jumlah\ Seluruh\ Data} \times 100\%$$

Atau persamaan (2) di bawah:

$$Error\ Rate = 100\% - Akurasi$$

Tabel 3. Data Pengujian yang Mengalami Ketidaksesuaian Klasifikasi Perilaku

Timer	Perilaku aktual	Perilaku sistem	Valid
9:25:40.57	Berjalan	Berdiri	no
9:35:47.64	Berjalan	Berdiri	no
9:40:09.23	Menunduk	Berjalan	no
10:10:25.72	Menunduk	Berjalan	no
10:20:27.20	Menunduk	Berdiri	no
10:25:26.42	Menunduk	Berjalan	no
10:35:26.42	Menunduk	Berjalan	no
11:10:15.83	Menunduk	Berdiri	no
11:25:14.40	Menunduk	Berdiri	no
12:15:13.69	Berjalan	Menunduk	no

12:45:25.06	Berjalan	Menunduk	no
12:55:54.04	Berjalan	Berdiri	no
13:20:43.15	Menunduk	Berdiri	no
13:30:10.79	Menunduk	Berjalan	no
13:45:57.25	Berdiri	Menunduk	no
14:10:29.19	Berdiri	Menunduk	no
14:25:03.29	Berjalan	Berdiri	no
14:35:23.97	Berjalan	Menunduk	no
14:50:26.47	Menunduk	Berdiri	no
15:05:02.49	Berjalan	Menunduk	no
15:30:34.18	Berjalan	Menunduk	no
16:25:16.21	Menunduk	Berjalan	no
16:40:28.66	Menunduk	Berdiri	no
16:55:41.43	Menunduk	Berdiri	no

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3 pengujian dilakukan dengan membandingkan perilaku aktual ternak yang diperoleh melalui pengamatan langsung dengan perilaku yang diidentifikasi oleh sistem. Pengujian dilaksanakan selama kurang lebih 8 jam, dengan pengamatan langsung terhadap perilaku ternak dilakukan setiap 5 menit dan dicatat sebagai data perilaku aktual. Hasil pengamatan tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil identifikasi perilaku yang dihasilkan oleh sistem berdasarkan data sensor. Dari hasil pengujian diperoleh 24 data pengamatan yang menunjukkan ketidaksesuaian antara perilaku aktual dan perilaku sistem, sehingga dikategorikan sebagai data tidak valid. Sementara itu, dari keseluruhan data yang diperoleh selama proses pengujian, terdapat sekitar 76 data yang teridentifikasi valid oleh sistem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat perbedaan antara hasil pengamatan langsung dan identifikasi sistem pada beberapa kondisi perilaku ternak, sehingga Tingkat akurasi sistem dihitung sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{72}{96} \times 100\% = 75\%$$

Sedangkan tingkat kesalahan dihitung menggunakan persamaan (1) dibawah:

$$Error Rate = \frac{24}{96} \times 100\% = 25\%$$

Ketidaksesuaian identifikasi terjadi pada beberapa kasus di mana perilaku menunduk salah diidentifikasi sebagai berjalan atau berdiri. Hal ini diyakini disebabkan oleh kemiripan pola percepatan yang dihasilkan oleh sensor MPU6050 saat sapi menggerakkan kepalanya atau beralih dari satu aktivitas ke aktivitas lainnya. Selain itu, perubahan posisi tubuh yang cepat dapat menghasilkan karakteristik percepatan yang menyerupai berjalan, sehingga memengaruhi proses klasifikasi. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini masih mampu mengidentifikasi perilaku ternak dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, sehingga cocok untuk mendukung pemantauan aktivitas ternak secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan akurasi identifikasi perilaku sebesar 75%, dengan 72 dari 96 data sesuai perilaku aktual. Kesalahan terutama terjadi pada perilaku menunduk yang diklasifikasikan sebagai berdiri atau berjalan akibat kemiripan pola percepatan saat sapi berpindah aktivitas atau menggerakkan bagian tubuh. Pengujian geofencing terhadap 31 titik menghasilkan akurasi 77,42%, dengan 24 titik sesuai kondisi aktual. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat menentukan status ternak berdasarkan posisi GPS terhadap area geofencing. Penelitian terdahulu juga telah menerapkan geofencing untuk pemantauan ternak [16], sedangkan penelitian ini mengintegrasikannya dengan identifikasi perilaku sehingga lokasi dan aktivitas sapi dapat dipantau melalui satu aplikasi. Pengujian LoRa menghasilkan RSSI sebesar -76 dBm pada 10 m, -88 dBm pada 100 m, dan -102 dBm pada 250 m, sedangkan pada 1 km data tidak diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas sinyal menurun seiring bertambahnya jarak. Penelitian [17] juga memanfaatkan LoRa untuk pemantauan hewan. Pada penelitian ini, komunikasi LoRa dapat digunakan hingga 250 m pada lingkungan dengan pepohonan dan bangunan.

Secara keseluruhan, penelitian ini mengintegrasikan GPS, geofencing, LoRa, dan MPU6050 dalam satu sistem untuk memantau lokasi dan perilaku sapi melalui aplikasi mobile.

Tabel 4. Hasil Uji Status aktual dan Status sistem

Timer	Status aktual	Status sistem	Valid
14:08:30.98	Inside	Inside	yes
14:10:44.63	Inside	Inside	yes
14:12:19.14	Inside	Inside	yes
14:14:13.88	Inside	Inside	yes
14:16:19.46	Outside	Inside	no
14:18:42.57	Inside	Inside	yes
14:20:33.27	Inside	Inside	yes

14:22:06.42	Inside	Inside	yes
14:24:37.64	Outside	Inside	no
14:26:33.74	Outside	Inside	no
14:28:40.59	Inside	Inside	yes
14:30:40.73	Inside	Inside	yes
14:32:40.87	Inside	Inside	yes
14:34:20.75	Inside	Inside	yes
14:36:37.00	Inside	Inside	yes
14:38:21.26	Inside	Outside	no
14:40:13.60	Inside	Inside	yes
14:42:16.52	Inside	Inside	yes
14:44:13.99	Inside	Inside	yes
14:46:12.34	Inside	Inside	yes
14:48:20.64	Inside	Inside	yes
14:50:28.17	Inside	Outside	no
14:52:26.20	Inside	Inside	yes
14:54:54.57	Inside	Inside	yes
14:56:26.74	Inside	Inside	yes
14:58:20.56	Inside	Outside	no
15:00:23.91	Inside	Outside	no
15:02:20.51	Inside	Inside	yes
15:04:20.00	Inside	Inside	yes
15:06:30.58	Inside	Inside	yes
15:08:30.58	Inside	Inside	yes

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4 diperoleh 27 data yang sesuai dari total 31 data pengujian yang di lakukan selama 1 jam dengan posisi sapi berada di padang rumput, sehingga Tingkat akurasi sistem dihitung sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{24}{31} \times 100\% = 77,42\%$$

Sedangkan tingkat kesalahan dihitung menggunakan persamaan (1) dibawah:

$$Error Rate = \frac{7}{31} \times 100\% = 22,58\%$$

Berdasarkan Tabel 4, pengujian dilakukan dengan membandingkan lokasi aktual ternak dengan hasil identifikasi yang dihasilkan oleh sistem geofencing pada setiap interval pengamatan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menentukan apakah ternak berada di dalam atau di luar area geofencing berdasarkan status lokasi yang diterima oleh sistem. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 31 titik data, sistem berhasil mengidentifikasi posisi ternak dengan benar di 24 titik pengamatan, sedangkan 7 titik lainnya menunjukkan ketidaksesuaian antara kondisi aktual dan hasil identifikasi sistem. Dengan demikian, sistem mencapai tingkat akurasi sebesar 77,42% dengan tingkat kesalahan sebesar 22,58%.

Ketidaksesuaian identifikasi terjadi pada beberapa kasus di mana sistem masih mendeteksi ternak berada di dalam area meskipun, berdasarkan pengamatan aktual, ternak tersebut sudah berada di luar area dan sebaliknya. Ketidaksesuaian ini diyakini dipengaruhi oleh fluktuasi akurasi koordinat GPS, keterlambatan pembaruan data lokasi, serta gangguan lingkungan seperti pepohonan atau bangunan yang dapat memengaruhi kualitas penerimaan sinyal. Meskipun masih ditemukan beberapa kesalahan identifikasi, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem geofencing mampu memantau posisi ternak secara otomatis dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, sehingga cocok untuk mendukung pemantauan ternak secara real-time.

Tabel 5..Hasil Uji Frekuensi Perilaku

Perilaku	Jumlah	Persentase
Berjalan	12	38,71%

Berdiri	10	32,26%
Menunduk	9	29,03%
Total	31	100%

Sementara itu, hasil identifikasi sistem yang dilakukan menunjukkan bahwa berjalan terdeteksi sebanyak 12 kali (38,71%), menunduk 9 kali (29,03%), dan berdiri 10 kali (32,26%). Perbedaan distribusi antara hasil pengamatan aktual dan hasil identifikasi sistem disebabkan oleh dua kasus di mana menunduk diidentifikasi sebagai berjalan dan satu kasus di mana menunduk diidentifikasi sebagai berdiri. Meskipun terdapat beberapa kesalahan klasifikasi, distribusi perilaku yang dihasilkan oleh sistem tetap menunjukkan pola yang relatif mendekati hasil pengamatan aktual. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu merepresentasikan aktivitas ternak secara akurat dan memiliki tingkat keandalan yang cukup tinggi dalam mengidentifikasi perilaku sapi secara otomatis

4.KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau lokasi dan mendeteksi perilaku ternak sapi menggunakan GPS, MPU6050, LoRa, dan aplikasi mobile. Sistem mampu mengirimkan data lokasi dan perilaku dari perangkat pengirim menuju gateway dan server, kemudian menampilkannya pada aplikasi monitoring. Aplikasi menampilkan posisi, koordinat, perilaku, status ternak berdasarkan geofencing, serta memberikan notifikasi ketika ternak keluar dari area pengawasan. Hasil pengujian perilaku menunjukkan bahwa dari 96 data, sebanyak 72 data sesuai dengan perilaku aktual dan 24 data tidak sesuai, sehingga diperoleh akurasi 75% dan kesalahan 25%. Kesalahan klasifikasi paling banyak terjadi pada perilaku menunduk yang teridentifikasi sebagai berjalan atau berdiri. Pengujian geofencing terhadap 31 titik menunjukkan 24 titik sesuai kondisi aktual, dengan akurasi 77,42% dan kesalahan 22,58%. Ketidaksesuaian dapat dipengaruhi fluktuasi koordinat GPS dan keterlambatan pembaruan lokasi. Pengujian komunikasi LoRa menghasilkan RSSI sebesar 76 dBm pada jarak 10 meter, 88 dBm pada 100 meter, dan 102 dBm pada 250 meter. Pada jarak 1 kilometer, data tidak diterima gateway. Dengan demikian, LoRa masih dapat digunakan hingga 250 meter pada lingkungan pengujian yang memiliki pepohonan dan bangunan. Distribusi hasil identifikasi perilaku menunjukkan berjalan sebanyak 12 kali (38,71%), berdiri 10 kali (32,26%), dan menunduk 9 kali (29,03%). Secara keseluruhan, integrasi GPS, geofencing, LoRa, dan MPU6050 dapat digunakan untuk memantau lokasi dan aktivitas ternak melalui aplikasi mobile, meskipun masih terdapat ketidaksesuaian klasifikasi perilaku, status geofencing, dan keterbatasan jangkauan LoRa.

REFERENCES

- [1] M. Umair, M. A. Cheema, O. Cheema, and H. Li, "Impact of COVID-19 on IoT Adoption in Healthcare, Smart Homes, Smart Buildings, Smart Cities, Transportation and Industrial IoT Muhammad," 2021.
- [2] F. and A. O. of the U. Nations, "Major gains in efficiency of livestock systems needed." [Online]. Available: <https://www.fao.org/newsroom/detail/Major-gains-in-efficiency-of-livestock-systems-needed/>
- [3] B. P. Statistik, "Populasi Sapi Potong," 2024. Accessed: Apr. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/UzJWxVUxZHdWVGxwU1hSd1UxTXZlbmRITjA1Q2R6MDkjMw==/populasi-ternak-menurut-provinsi-dan-jenis-ternak--ekor---2024.html?year=2024>
- [4] H. Hafid, L. Malesi, S. H. Ananda, and A. M. Ibrahim, "Penggemukan Sapi Sistem Kereman Di Kecamatan Konda," vol. 5, no. 2, pp. 131–142, 2022.
- [5] J. Dakshayani, K. S. Gowthami, C. Aishwarya, N. S. S, and K. R. G. N, "Geo-Fencing Based Cattle Monitoring System Using LoRa," vol. 8, no. 2, pp. 81–95, 2026.
- [6] D. Fadiyah and D. Widhiantoro, "Implementasi Metode Geofencing Untuk Sistem Pelacak Lokasi : Studi Literatur Sistematis Abstrak," vol. 4, no. 1, pp. 785–791.
- [7] L. P. P. Nur April Irfansyah, Arief Jaenul, "Rencang Bangun Sistem Pemantauan Pendaki Gunung Dengan Geofencing Berbasis Lora," *Semin. Nas. INOVASI, Riset, dan Teknol.*, vol. 2, pp. 1–6, 2026, doi: 10.21009/sinergi.v2i1.67674.
- [8] S. Yudho, D. Rusjdi, R. P. Putra, and R. R. A. Siregar, "Integrating LoRa SX178S with GPS Sensor for Free Geolocation," vol. 11, no. 1, pp. 64–70, 2022.
- [9] F. Ardiansyah, F. A. Batubara, and M. Rusdi, "Implamentasi Modul Komunikasi Jarak Jauh Menggunakan Lora Berbasis Internet Of Things (IOT) Smart Farming," *Teknol. Rekayasa Jar. Telekomun.*, vol. 2, no. 1, pp. 26–32, 2022.
- [10] I. B. A. Peling, M. P. Ariawan, and G. B. Subiksa, "Perancangan Sistem Pendeteksi Estrus Berdasarkan Gerak Sapi Dengan Accelerometer Berbasis Arduino," *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 8, no. 4, 2022.
- [11] M. Nasir, K. Nasuha, T. Musri, E. Kurniawaty, and A. Ramadhani, "Perancangan Sistem Monitoring Hewan Peliharaan Menggunakan Global Positioning System (GPS) Berbasis Internet of Things (IoT)," in *International Conference on Industrial Technology and Business Proceeding (INTECHBIZ)*, 2024, pp. 77–82.
- [12] S. Ardhiman, D. Indra, and A. R. Manga, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Keberadaan Sapi Berbasis Mikrokontroler," *Bul. Sist. Inf. dan Teknol. Islam*, vol. 2, no. 2, pp. 118–125, 2021.
- [13] H. B. Rahmah Muftihatur, Massikki, "Pengembangan Sistem Monitoring Ternak Sapi Untuk Sistem Penggembalaan Lepas Berbasis Android Di Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan," vol. 02, no. November, pp. 69–74, 2021.

- [14] Y. R. Ramadhan, “Perancangan Dan Implementasi Sistem Monitoring IoT Berbasis ESP32 Pada Pengering Kerupuk Dengan Web Dashboard,” vol. 9, no. 8, pp. 157–162, 2025.
- [15] Vindua Raditia, *Metode Pengembangan Sistem Secara Tradisional dan terbaru*. 2024.
- [16] I. K. C. Arta, A. Febriyanto, I. Nugraha, I. G. S. Widharma, and I. B. I. Purnama, “Animal Tracking Berbasis Internet of Things,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 7, 2022.
- [17] F. Andika, H. Azwar, W. Indani, and M. Diono, “Sistem Pemantauan Pergerakan Gajah Berbasis Geofence Menggunakan Teknologi Lora,” *Elektrika*, vol. 18, no. 1, pp. 40–48, 2026.
- [18] A. Muzakki, A. M. Amri, M. I. Alhari, and F. Sadam, “Implementasi Aplikasi Smart Farm Berbasis Android Menggunakan Metode Waterfall,” *J. Algoritm.*, vol. 22, no. 1, pp. 801–807, 2025.
- [19] J. T. Magar and S. P. Bhattarai, “Energy-Efficient and Affordable Wearable Solution for Cow Behavior Detection using Machine Learning,” vol. 14, no. 04, 2025.