

Sistem Pemantauan Status Kesehatan Sapi Perah Berbasis IoT dengan Parameter Detak Jantung, Saturasi Oksigen, dan Suhu

Ervinta Aprilliana^{1,*}, Hidayat Nur Isnianto¹, Rendra Dwi Firmansyah²

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; ervintaaprilliana4@mail.ugm.ac.id

²Mekatronika Cerdas, Badan Riset dan Inovasi Nasional; rend004@brin.go.id

*Korespondensi: hnisnianto@ugm.ac.id

Abstract –The suboptimal utilization of technology in Indonesia concerning the real-time monitoring of local, backyard, and dairy cows is resulting in challenges for farmers, impacting operational costs and leading to insufficient milk supply for the community. Many cattle farmers rely on traditional methods, observing solely through physical symptoms. Therefore, there's a need for a tool applying Internet of Things (IoT) technology to monitor the health conditions of dairy cows. This system is designed using the ESP32 microcontroller as the primary processor, equipped with programs to monitor body temperature, heart rate, and oxygen saturation according to the physiological conditions of dairy cows. The system transmits data using MQTT to Node-RED as a user interface and stores data to facilitate user review of health status and prevent abnormalities, enabling prompt medical action. Testing was conducted at the UGM Livestock Unit, comparing livestock temperature readings to a standard thermogun, resulting in an average absolute error value of 0.7°C. The heart rate sensor, calibrated using Kalman filter with $R=10$ and $Q=0.01$, was compared with manually measured pulse rates from a dairy cow's tail, yielding an average absolute error of 1.45 bpm. The system effectively reduced noise signals without compromising the original signal characteristics. The absolute error value for oxygen saturation was 2%. Research on ten dairy cows validated by veterinary specialists indicated an overall healthy condition, with two cows showing indications of lactation during the daytime and evening due to increased body temperature and heart rate. Utilizing a confusion matrix for evaluation yielded results of 97% accuracy, 75% precision, and 98% recall.

Keywords – Cattle health status, heart rate, oxygen saturation, temperature, IoT

Intisari –Kurang optimalnya pemanfaatan teknologi di Indonesia mengenai pemantauan kesehatan sapi lokal maupun sapi perah secara real time untuk memudahkan peternak dan menghemat biaya operasional mengakibatkan kurangnya pemenuhan susu untuk konsumsi masyarakat. Banyak peternak sapi hanya memantau secara tradisional dengan melihat dari gejala fisik. Oleh karena itu memerlukan alat yang menerapkan teknologi Internet Of Things (IoT) untuk memonitoring kondisi kesehatan sapi perah. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai prosesor utama yang di dalamnya terdapat program suhu, detak jantung, dan saturasi oksigen sesuai kondisi fisiologis sapi perah mengirimkan data ke Node-RED menggunakan protokol MQTT sebagai *user interface* dan menyimpan data menggunakan MySQL untuk memudahkan pengguna meninjau status kesehatan dan mencegah ketidaknormalan agar melakukan tindakan medis selanjutnya. Pengujian dilakukan di UPT Peternakan UGM, hasil kalibrasi pembacaan suhu ternak dibandingkan thermogun umum didapatkan nilai rata-rata *absolute error* sebesar 0,7°C. Sensor detak jantung dengan estimasi kalman filter nilai $R=10$ dan $Q=0.01$ dikalibrasi dengan pengukuran denyut nadi ekor sapi perah secara manual mendapatkan rata-rata *absolute error* 1.45 bpm, sinyal *noise* dapat direduksi dengan baik tanpa menghilangkan karakteristik sinyal asli. Nilai *absolute error* 2% untuk saturasi oksigen. Hasil dari penelitian menguji pada 10 ekor sapi perah dan divalidasi dengan diagnosis spesialis ternak rata-rata menunjukkan kondisi sehat. Untuk mengevaluasi menggunakan *confusion matrix* menghasilkan hasil akurasi 97%, presisi 75%, dan *recall* sebesar 98%.

Kata kunci – Status kesehatan sapi, detak jantung, saturasi oksigen, suhu, IoT

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi alam di bidang agribisnis yang menjadi salah satu faktor pendukung untuk meningkatkan perekonomian nasional dari ketersediaan sumber daya alam, salah satunya sektor peternakan yang berkontribusi besar untuk memenuhi kebutuhan pangan hewani. Salah satu sektor peternakan yang berpengaruh adalah ternak sapi perah yang menghasilkan susu guna mencukupi asupan nutrisi manusia [1]. Kebutuhan konsumsi susu nasional berkisar antara 4,45 juta ton atau setara 17,2 kg setiap orang per tahunnya dengan jumlah rata-rata sebesar 230 juta jiwa, sedangkan pelaku usaha lokal hanya bisa memenuhi sekitar 20 persen, sekitar 80 persen kebutuhan konsumsi susu nasional masih dipenuhi dari impor [2]. Keberhasilan produksi susu sapi dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu nutrisi, manajemen pemeliharaan, ketersediaan sumber daya, dan kesehatan yang efisien [3],[4]. Peternak

Indonesia masih lemah dalam penguasaan manajemen dan teknologi sapi perah sehingga faktor tersebut berdampak pada kesehatan sapi dan hasil produksi susu sapi yang masih di bawah standar produktivitas. Menerapkan teknologi pada usaha sapi perah dapat mempermudah pekerjaan dalam memanajemen ternak dan secara tidak langsung berdampak pada pendapatan peternak [5]. Faktor iklim meliputi temperatur, kelembaban, tekanan udara, arah angin dapat mempengaruhi fisiologis dan produktivitas hewan ternak, daya adaptasi pada sapi berbeda-beda terutama ternak yang sedang dalam kondisi tertentu seperti laktasi dan bunting mengalami perubahan frekuensi detak jantung dan pemenuhan oksigen dalam tubuh) [6],[7].

Di Indonesia perlu penerapan teknologi untuk memantau kesehatan sapi perah secara *real time* agar mengetahui dampak dari faktor lingkungan yang mempengaruhi kesehatan sapi yang terintegrasi melalui jaringan yang dapat

dipantau secara jarak jauh, sehingga dapat memudahkan peternak sapi dan menghemat biaya operasional. Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah *Internet Of Things* (IoT) yang terhubung melalui *online service* yang mengoneksikan beberapa sensor untuk pendeteksian terhubung menggunakan jaringan Wi-Fi sehingga dapat mendeteksi dini penyakit pada sapi perah untuk dilakukan tindakan medis selanjutnya. Sistem monitoring memerlukan perancangan yang baik untuk perangkat keras, penampil visualisasi, analisis, dan penyimpanan data yang memadai karena memerlukan kontrol dari satu perangkat terkoneksi menangkap informasi lain[8]. Pada alat Digital Smart Collar yang dipasang pada leher sapi perah untuk memonitoring kesehatan sapi menggunakan IoT berbasis *website* dengan parameter detak jantung, suhu, dan saturasi oksigen dalam bentuk *output* data 3 parameter tersebut yang tersimpan secara *real time* untuk memudahkan peternak memantau kondisi ternaknya [9],[10].

Untuk penelitian ini membuat alat monitoring kesehatan sapi perah menggunakan sensor MLX90614 sebagai sensor suhu dan MAX30100 untuk mendeteksi detak jantung dan saturasi oksigen menggunakan kalman filter untuk mereduksi *noise* dengan mikrokontroler ESP32. Pada penelitian ini menggunakan nilai acuan pada jurnal sesuai fisiologis sapi di Indonesia untuk mengetahui status kondisi kesehatan sapi perah dengan mencari sampel data sapi baik sehat, *heat stress*, *lumpy skin disease* (LSD), kebuntingan, dan laktasi agar dapat menjadikan acuan data untuk dilakukan tindakan medis selanjutnya ketika mengalami gejala timbulnya penyakit yang muncul dan terbaca pada tampilan Node-RED dan data disimpan pada *file* Excel melalui penyimpanan *database* MySQL.

II. METODOLOGI

A. Alat dan Bahan

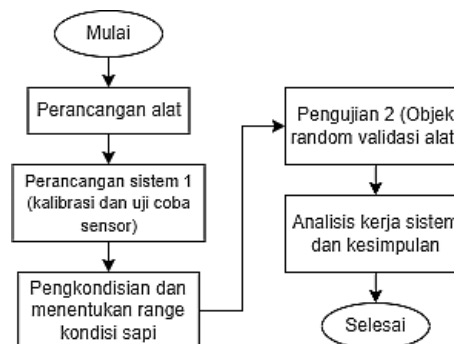
Pada penelitian ini memerlukan alat dan bahan, objek berupa sapi perah, perangkat lunak komputer, perangkat keras komputer, dan komponen elektronis untuk mendukung tercapainya sistem sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 1. Alat dan bahan

No.	Perangkat Lunak	Perangkat Keras
1.	Laptop / PC	ESP32
2.	Software Eagle	Sensor MAX30100 dan MLX90614
3.	Software Solidworks	Baterai turnigy
4.	Arduino IDE	Modul charger TP4056
5.	Node.js	Rangkaian regulator AMS1117
6.	XAMPP	Saklar
7.	Mosquitto (MQTT)	Kabel
8.	Node-Red	Pin header
9.	Excel	Kapasitor 100nF
10.	Google colabs	3D Printing

B. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dari perancangan alat, pengujian sistem pertama (pengumpulan data), analisis dan penentuan *threshold* sesuai kondisi kesehatan sapi, pengujian kedua (objek *random* untuk validasi alat), dan analisis sistem dan kesimpulan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

C. Perancangan Alat

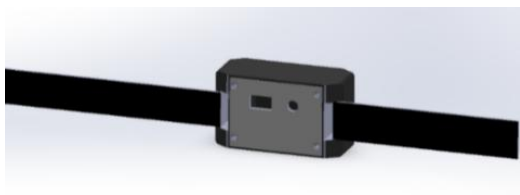
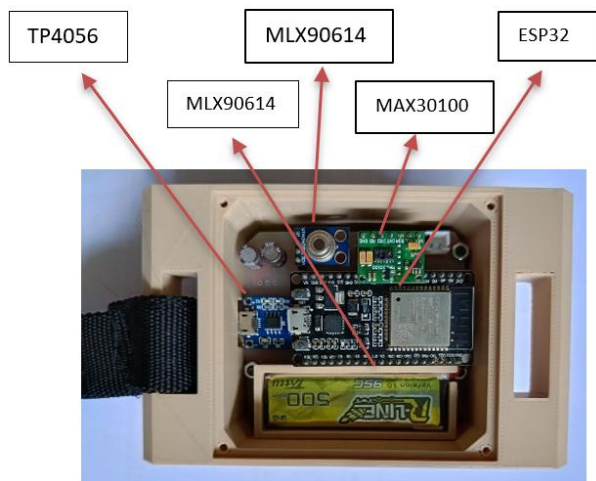
Perancangan alat terdiri dari pembuatan *user interface* pada Node-RED, pembuatan *packaging*, dan pembuatan elektronis sistem.

1) *Rancangan user interface*: Tampilan menu yang ditunjukkan pada Gambar 2 dibuat sederhana agar memudahkan pembacaan hasil data yang ditampilkan dalam bentuk grafik, teks, dan juga *gauge meter*, yang informasinya dapat dilihat lebih lanjut dengan klik ikon menu atau langsung klik pada *dashboard* sesuai sapi yang akan dipilih.

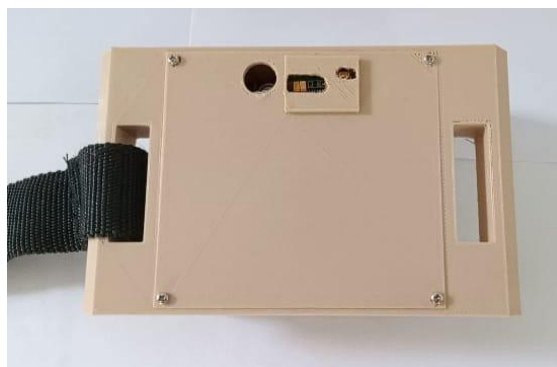


Gambar 2. Tampilan menu

2) *Rancangan packaging*: Rancangan desain *packaging* dengan ukuran tinggi 4 cm, lebar 6 cm, dan panjang 8 cm ditambahkan tali atau *belt* yang digunakan untuk mengaitkan pada leher sapi.

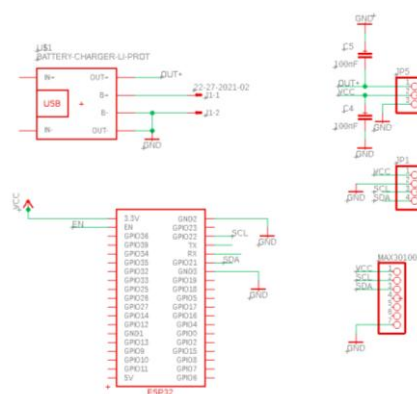
Gambar 3. Desain *packaging* alat

Gambar 4. Peletakan komponen

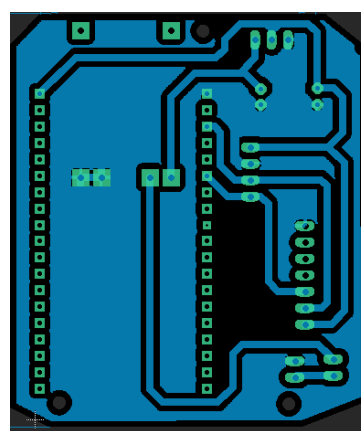
Gambar 5. *Packaging* alat

Sesuai Gambar 4 dan 5 penempatan komponen untuk sensor suhu (MLX90614) dibuat secara *non-contact* yang di dalamnya terdapat sensor infra merah untuk mengukur suhu [11]. Sensor detak jantung dan sensor saturasi oksigen (MAX30100) diletakkan secara *contact* mengenai kulit yang akan mendeteksi perubahan volume darah [12]. Untuk pengait ketika terpasang pada sapi perah menggunakan tali yang dapat direkatkan sesuai ukuran leher sapi perah.

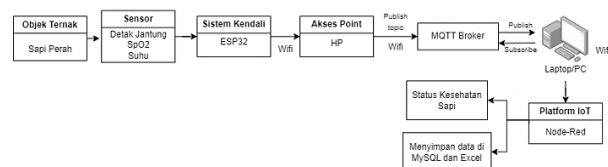
3) *Rancangan elektronis sistem*: Rancangan sistem elektronis secara keseluruhan, sistem didesain dengan menggunakan aplikasi Eagle dengan memasukkan beberapa *library* yaitu TP4056, Pin header untuk sensor, regulator Low Drop Output sebagai penurun tegangan, dan 2 kapasitor sebagai filter agar tidak terjadi *bouncing* ketika terpasang pada sumber daya.



Gambar 6. Skematik sistem



Gambar 7. Desain board PCB



Gambar 8. Diagram blok sistem

D. Perancangan Blok Diagram Sistem

Blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 8 menjelaskan bahwa sistem ini diawali dengan penentuan objek ternak yaitu sapi perah selanjutnya memprogram sensor detak jantung, SpO₂, dan suhu menggunakan ESP32 menentukan kondisi rentang kesehatan sapi perah yaitu LSD, *heat stress*, laktasi, bunting, normal sesuai dengan penelitian pada jurnal yang akan dijadikan nilai ambang batas. Menghubungkan ESP32 melalui akses *point* berupa Wi-Fi *hotspot* dari *handphone* dengan protokol komunikasi MQTT untuk menghubungkan *publisher* dan *subscriber* selanjutnya memunculkan pembacaan data dan status kesehatan sapi perah yang dapat diakses ke pengguna secara *real time* melalui laptop/PC. Data tersebut disimpan pada *database* MySQL dan dapat diubah menjadi *file* Excel dalam bentuk *file csv* untuk dapat ditinjau ulang ketika ingin melihat status kesehatan sebelumnya.

E. Rancangan Sistem 1 (Kalibrasi dan Uji Coba Sensor)

Rancangan sistem 1 merupakan proses kalibrasi dan menguji coba kelayakan sensor untuk dibandingkan dengan alat konvensional yang digunakan oleh peternak. Kalibrasi sensor detak jantung menggunakan estimasi kalman filter yang diimplementasikan pada program ESP32, untuk sensor suhu dan saturasi oksigen menggunakan rata-rata selisih pengukuran dari kedua sensor.

1) *Kalman filter*: Kalman filter mengestimasi nilai dari suatu variabel dengan pengukuran langsung, sinyal yang menyimpang berdasarkan metode *least square error* rekrusif yang berarti hasil pengukuran keadaan sekarang dan pengukuran sebelumnya digunakan untuk menghitung estimasi nilai hasil terbaru [13]. Pemodelan sistem kalman filter memiliki dua bagian prediksi dan *update* atau pembaharuan untuk mereduksi *noise* hasil pembacaan sensor sesuai dengan persamaan (1) dan (2) berikut:

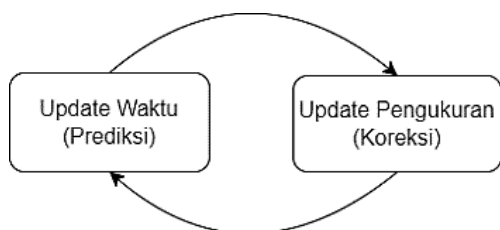
Prediksi:

$$P_{t|t} = F_t P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (1)$$

Update:

$$P_{t|t} = (1 - K_t) P_{t|t-1} \quad (2)$$

Persamaan kalman filter umumnya dibagi menjadi *update* waktu atau proses *predict*, yaitu menggunakan estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* pada saat ini. Selanjutnya terdapat *update* pengukuran disebut juga *process correct*, yaitu informasi pengukuran pada saat ini untuk memperbaiki prediksi untuk mendapatkan *state* estimasi yang lebih akurat. Alur estimasi kalman filter ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Alur estimasi kalman filter

F. Pengkondisian dan Penentuan Nilai Kondisi Sapi

Sapi memiliki *range* detak jantung, saturasi oksigen, dan suhu sesuai kondisinya sebesar sesuai *set point* pada penelitian terdahulu yang disesuaikan pada program diatur sesuai pada Tabel 2.

G. Pengujian 2 Objek Random Validasi Alat

Tahap pengujian tahap 2 dilakukan setelah mendapatkan data untuk pemberian kondisi pada program maka selanjutnya pengujian pada sapi perah secara *random*. Pengujian sistem tahap 2 ini membutuhkan sampel sapi

perah dengan keadaan yang tidak diketahui sebelumnya dan divalidasi pendeteksiannya sesuai diagnosis ahli.

Tabel 2. Parameter pada program

Status Kesehatan	BPM (<i>beat per minute</i>)	SpO2 (%)	Suhu (°C)
Sehat	59.8 – 72	70 – 96	38.5 – 38.9
Laktasi	60 – 72	90 – 99	38.9 – 40
Kebuntingan	80 – 90	96 – 97	41.2 – 42
Heat stress	57.5 – 78.83	97 – 98	39 – 42
LSD	86.6 – 90	98 – 100	40 – 41

H. Analisis kinerja sistem dan kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian maka melakukan tahapan analisis kinerja sistem untuk mengetahui kesesuaian status kondisi kesehatan sapi yang tertampil pada *website* dengan pemeriksaan kondisi langsung dengan diagnosis oleh dokter hewan selanjutnya menggunakan metode *confusion matrix* untuk mengevaluasi seberapa kinerja dari alat dengan kondisi nyata.

Untuk mengetahui performa terhadap suatu model salah satunya dapat menggunakan model *confusion matrix*. *Confusion matrix* juga bisa disebut sebagai suatu tabel ringkasan dari jumlah prediksi yang benar dan jumlah prediksi yang salah dari suatu model klasifikasi. *Confusion matrix* menggunakan metode matriks berbasis $N \times N$ untuk melakukan evaluasi performa pada suatu klasifikasi model, yang mana N merupakan jumlah dari kelas target. *Confusion matrix* dibentuk dalam matriks kotak yang terdiri dari satu kolom sebagai nilai sebenarnya dan satu baris sebagai nilai prediksi [14].

Tabel 3. Confusion matrix

Nilai Prediksi \ Nilai Sebenarnya	Nilai Sebenarnya	
	TRUE	FALSE
TRUE	TP (<i>True Positive</i>) <i>Correct Result</i>	FP (<i>False Positive</i>) <i>Unexpected result</i>
FALSE	FN (<i>False Negative</i>) <i>Missing Result</i>	TN (<i>True Negative</i>) <i>Correct absence of result</i>

Penjelasan dari Tabel 3 Confusion Matrix tersebut :

1. *True Positive* (TP), yaitu jumlah data aktual kelas positif yang diprediksi terdeteksi benar.
2. *True Negative* (TN), merupakan jumlah data aktual kelas negative yang diprediksi terdeteksi benar.
3. *False Positive* (FP) merupakan data aktual kelas positif namun data yang diprediksi salah.
4. *False Negative* (FN) jumlah data aktual kelas negatif, namun yang diprediksi terdeteksi ternyata juga salah.

Untuk mengukur kinerja dari 4 keterangan di atas dapat diperoleh data untuk mengetahui evaluasi performa hasil

dengan menggunakan nilai akurasi, presisi, dan *recall* (sensitivitas) sesuai persamaan (3), (4), (5):

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3)$$

$$Presisi = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Alat Pada Sapi Perah

Untuk dapat digunakan, sistem ini dirancang dan diimplementasikan untuk dapat digunakan secara nyata pada leher sapi perah. Pada Gambar 10 ditunjukkan implementasi alat pada leher sapi perah dengan kulit tidak terlalu tebal berada di samping (bukan bagian yang menggelambir) dengan posisi sensor menghadap kulit dan tali diikatkan secara kuat agar tidak bergeser pada leher sapi perah dengan adanya perekat. Bagian leher sapi perah mengandung pembuluh darah (vena) terbesar.



Gambar 10. Pemasangan alat pada sapi perah

B. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

Pengujian dilakukan dengan memasang alat pada leher sapi dengan pengukuran suhu awal saat sistem pertama kali dinyalakan diukur dengan *thermogun* secara bersamaan. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 15 kali pengulangan untuk mengetahui selisih pembacaan sensor MLX90614 dengan *thermogun*.

Hasil pengukuran sensor untuk mengetahui nilai acuan dari 2 variabel pengukuran yaitu sensor dan pengukuran *thermogun* dengan didapatkan hasil *absolute error* sebesar 0,7 jadi dapat diketahui bahwa sensor MLX90614 diuji dengan *thermogun* dapat mengukur suhu dengan baik ketika dilakukan pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MLX90614 yang menjadi bagian utama pada *thermogun* mampu bekerja dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan.

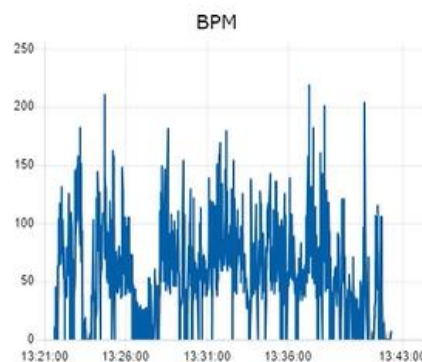
Tabel 4. Kalibrasi sensor MLX90614 dengan sensor *thermogun*

No	Sensor MAX90614 (°C)	Thermogun (°C)	Absolute error (%)
1.	39,2	39,5	0,3
2.	38,9	39,9	0
3.	38,2	39,2	0
4.	38,7	39,6	0,1
5.	38,9	39,6	0,3
6.	37,2	38,6	1,4
7.	36,7	36,9	0,2
8.	36,5	36,9	0,4
9.	35,6	37,1	1,5
10.	35,9	37,1	1,2
11.	35,7	37,1	1,4
12.	37,3	37,4	0,1
13.	36,8	37,4	0,6
14.	34,1	35,6	1,5
15.	36,0	37	1
Rata-rata <i>absolute error</i> (%)			0,7

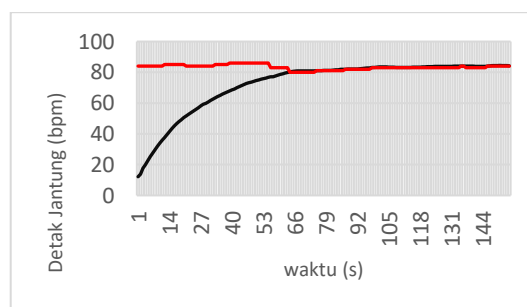
C. Hasil Kalibrasi Sensor Detak Jantung

Prosedur pengujian kalibrasi sensor detak jantung dilakukan dengan pengukuran menggunakan sensor dibandingkan dengan hasil pengukuran oleh spesialis ternak sapi yang diukur melalui pembuluh vena pada ekor sapi. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali selama 1 menit dengan nilai variabel R dan Q yang telah sesuai kemudian nilai tersebut dilakukan bersamaan perhitungan manual oleh spesialis ternak sapi dan saat sensor dipasang pada leher sapi. Sebelum dilakukan *filtering* dapat dilihat pada Gambar 11 di mana *noise* banyak terjadi karena pergerakan objek dan aktivitas makan sapi perah.

KONDISI SAPI 1



Gambar 11. Sebelum *filtering*



Gambar 12. Nilai kalman filter R=10 dan Q=0.01

Respons yang cukup baik di sistem ketika setelah diimplementasikan sesuai dengan karakteristik *noise* saat dipasang pada leher sapi perah karena banyaknya pergerakan menimbulkan banyaknya *noise* ketika mencapai titik stabilnya semula mengalami keterlambatan respons namun setelah 3 menit sensor telah stabil perubahan sebelum dan setelah berubah posisi tidak terlalu besar dan *tracking* terbaik menggunakan variasi $R=10$ dan $Q=0.01$ dengan selisih posisi sebelum *filtering* dengan setelah kalman filter lebih kecil dibandingkan dengan pengujian Q nilai lain filter ini cocok digunakan karena sinyal *noise* dapat direduksi dengan baik tanpa menghilangkan karakteristik sinyal asli, nilai respon cenderung mendekati dengan hasil pembacaan sensor.

D. Hasil Kalibrasi Sensor Saturasi Oksigen

Pengujian kalibrasi sensor saturasi oksigen dilakukan dengan perbandingan pembacaan pengukuran menggunakan alat *pulse oximeter* yang dikonversi menjadi nilai persentase (%). Pengujian sensor saturasi oksigen yang diimplementasikan pada manusia menggunakan alat pembandingan *pulse oximeter*. Hasil dari perbandingan kedua sensor tersebut menghasilkan rata-rata *absolute error* sebesar 2%, yang mengartikan bahwa sensor MAX30100 dalam pembacaan saturasi oksigen memiliki selisih ketidakpastian 2%.

Tabel 5. Kalibrasi sensor SpO2 dibandingkan *pulse oximeter*

No.	SpO2 Sensor (%)	Pulse Oximeter (%)	Absolute Error (%)
1.	97	99	2
2.	97	99	2
3.	97	99	2
4.	97	99	2
5.	97	99	2
6.	97	99	2
7.	97	99	2
8.	97	99	2
9.	97	99	2
10.	97	99	2
11.	96	98	2
12.	96	98	2
13.	96	98	2
14.	97	99	2
15.	97	99	2
Rata-rata <i>absolute error</i> (%)			2

E. Hasil Pengujian pada Sapi Perah

Data hasil pengujian pengukuran terhadap saturasi oksigen, detak jantung, dan temperatur sapi perah menggunakan nilai *threshold* disesuaikan dengan data dari sumber acuan jurnal. Pengujian dilakukan sebanyak 10 sapi perah dengan waktu pagi, siang, dan sore hari selama 10-15 menit setiap pengujiannya.

Hasil pengujian didapatkan hasil rata-rata pada sapi perah ber kondisi sehat sesuai dengan diagnosis ahli. Pada pengujian ke 6 dan 7 mendeteksi sapi sedang laktasi ketika siang dan sore hari hal tersebut terjadi karena peningkatan metabolisme tubuh sapi perah yang memerlukan pemerahan sehingga meningkatkan parameter suhu dan detak jantung, untuk saturasi oksigen berada di nilai normal. Dalam jurnal

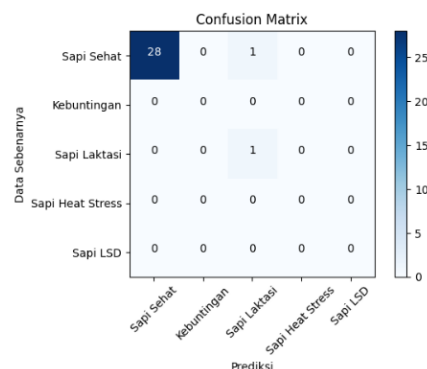
[15] pemerahan mempengaruhi metabolisme sapi perah baik itu peningkatan detak jantung, saturasi oksigen dan suhu. Dalam jurnal tersebut mengatakan pemerahan bisa mengakibatkan stres pada sapi perah yang bisa terjadi karena pembengkakan ambing susu sehingga sapi mengalami ketidaknyamanan. Namun untuk sapi tersebut mampu mempertahankan statusnya pada *range* sapi sehat setelah dilakukan pemerahan.

Tabel 6. Waktu dan diagnosis pengujian

Sapi	Waktu	Deteksi alat	Diagnosis
1	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
2	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
3	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
4	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
5	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
6	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi laktasi	Sapi laktasi
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
7	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi laktasi	Sapi sehat
8	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
9	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat
10	Pagi	Sapi sehat	Sapi sehat
	Siang	Sapi sehat	Sapi sehat
	Sore	Sapi sehat	Sapi sehat

F. Mengukur Kinerja Sistem dengan Confusion Matrix

Pada hasil pengujian kondisi sapi perah Tabel 6 didapatkan nilai prediksi dari alat dan diagnosis spesialis ternak, untuk mengevaluasi kinerja dari alat menggunakan metode confusion matrix yang digunakan untuk memberikan seberapa baik model kinerja sistem dengan diagnosis sebenarnya.



Gambar 13. Kinerja sistem dengan confusion matrix

Akurasi: 0.9666666666666667
 Presisi: 0.75
 Recall: 0.9827586206896552

Gambar 14. Hasil akurasi, presisi dan sensitivitas

Dari hasil data pengujian keseluruhan sistem tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengetahui status kondisi kesehatan sapi yang divalidasi dengan diagnosis dokter menggunakan evaluasi *confusion matrix*. Sesuai dengan Persamaan 8 pada sistem mendapatkan hasil akurasi 97% yang artinya sistem dapat mengenali dengan benar status kesehatan sapi secara keseluruhan, sesuai Persamaan 9 perhitungan nilai presisi 75% dari hasil identifikasi positif sistem adalah benar, dan Persamaan 10 perhitungan nilai sensitivitas atau *recall* sebesar 98% untuk mengukur seberapa baik sistem dalam mengidentifikasi kasus positif secara keseluruhan, seberapa baik kinerja sistem sesuai dengan nilai *set point* sesuai jurnal dan disesuaikan dengan pembacaan sensor.

IV. SIMPULAN

Sistem pemantauan status kesehatan sapi perah berbasis IoT dengan parameter detak jantung, suhu, dan saturasi oksigen telah dibuat dan dapat berfungsi sebagai alat pendeteksi status kesehatan sapi perah yang ditampilkan pada platform Node-RED. Sensor pendeteksi suhu tubuh sapi perah MLX90614, sensor detak jantung dan saturasi oksigen MAX30100 yang terintegrasi IoT mendapatkan hasil kalibrasi pembacaan suhu ternak dibandingkan *thermogun* umum nilai rata-rata *absolute error* sebesar 0.7°C. Sensor detak jantung dengan estimasi kalman filter nilai $R=10$ dan $Q=0.01$ dikalibrasi dengan pengukuran denyut nadi ekor sapi perah secara manual mendapatkan rata-rata *absolute error* 1,45 bpm, meskipun *error* cukup besar namun dengan nilai filter tersebut sinyal *noise* direduksi dengan baik tanpa menghilangkan karakteristik sinyal asli. Saturasi oksigen dengan nilai *absolute error* 2% dikalibrasi dengan manusia yang memiliki perbedaan karakteristik fisiologis pada sapi perah. Pada pengujian 10 sapi, rata-rata sapi dalam keadaan sehat dan terdapat perubahan status pada 2 yang terindikasi laktasi karena kenaikan suhu dan peningkatan detak jantung ketika sore an siang hari divalidasi dokter ternak dengan akurasi menggunakan evaluasi *confusion matrix* dengan mendapatkan hasil akurasi 97%, nilai presisi 75%, dan nilai sensitivitas atau *recall* 98% sesuai dengan nilai *set point* sesuai jurnal dan disesuaikan dengan pembacaan sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Vannieuwenborg, S. Verbrugge, and D. Colle, *Designing and*

- evaluating a smart cow monitoring system from a techno-economic perspective*. IEEE, 2017.
- [2] Wulandari and Bowo, "Pengaruh Produksi, Konsumsi, dan Harga Susu Sapi Nasional Terhadap Impor Susu Sapi," *EEAJ*, vol. 8, no. 3, pp. 1130–1146, 2019, doi: 10.15294/eeaj.v13i2.35717.
- [3] D. S. Adi, D. W. Harjanti, and R. Hartanto, "Evaluasi Konsumsi Protein dan Energi terhadap Produksi Susu Sapi Perah Awal Laktasi," *J. Peternak. Indones. (Indonesian J. Anim. Sci.)*, vol. 22, no. 3, p. 292, Oct. 2020, doi: 10.25077/jpi.22.3.292-305.2020.
- [4] I. R. Savitri, G. Faroka, and N. Muhlis, "Thingspeak: Sistem Pemantauan Kesehatan Sapi Berbasis Internet of Things untuk Sapi Perah di Kabupaten Boyolali dalam Mewujudkan SDGs 2030 Thingspeak: Internet of Things-Based Cattle Health Monitoring System for Dairy Cattle in Boyolali Regency in Realizi," 2023, doi: 10.32734/lwsa.v6i1.1665.
- [5] C. R. Adawiyah, "Urgensi Komunikasi dalam Kelompok Kecil untuk Mempercepat Proses Adopsi Teknologi Pertanian," *Forum Penelit. Agro Ekon.*, vol. 35, no. 1, p. 59, Mar. 2018, doi: 10.21082/fae.v35n1.2017.59-74.
- [6] A. Suprayogi, G. Alaydrussani, and A. Y. Ruhjana, "Hematology, Heart Rate, Respiration Rate, and Body Temperature Values of Lactating Dairy Cattle in Pangalengan," *J. Ilmu Pertan. Indones.*, vol. 22, no. 2, pp. 127–132, 2017, doi: 10.18343/jipi.22.2.127.
- [7] T. L. Rona, I. N. Suartha, M. K. Budiasa, and P. dokter hewan di Denpasar, "Frekuensi detak jantung sapi bali betina pada kebuntingan trimester ke II," *Bul. Vet. Udayana Vol.*, vol. 8, no. 2, pp. 106–111, 2016.
- [8] N. Valov, T. Mladenova, and I. Valova, "IoT and big data in animal farming," in *ISMSIT 2021 - 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Proceedings*, 2021, pp. 93–96, doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604671.
- [9] D. Darwis, A. R. Mehta, N. E. Wati, S. Samsugi, and P. R. Swaminarayan, "Digital Smart Collar: Monitoring Cow Health Using Internet of Things," in *ISESD 2022 - 2022 International Symposium on Electronics and Smart Devices, Proceeding*, 2022, doi: 10.1109/ISESD56103.2022.9980682.
- [10] Y. P. Pratama et al., *Designing of a Smart Collar for Dairy Cow Behavior Monitoring with Application Monitoring in Microservices and Internet of Things-Based Systems*. 2019.
- [11] A. Sudianto, Z. Jamaludin, A. A. Abdul Rahman, S. Novianto, and F. Muharrom, "Smart Temperature Measurement System for Milling Process Application Based on MLX90614 Infrared Thermometer Sensor with Arduino," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 72, no. 1, pp. 10–24, 2020, doi: 10.37934/aram.72.1.1024.
- [12] M. Muthmainnah, D. B. Tabriawan, and I. Tazi, "Karakterisasi Sensor MAX30102 Sebagai Alat Ukur Detak Jantung dan Suhu Tubuh Berbasis Photoplethysmograph," *J. Pendidik. Mipa*, vol. 12, no. 3, pp. 726–731, 2022, doi: 10.37630/jpm.v12i3.655.
- [13] A. Ma'arif, I. Iswanto, A. A. Nuryono, and R. I. Alfian, "Kalman Filter for Noise Reducer on Sensor Readings," *Signal Image Process. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 11–22, 2019, doi: 10.31763/simple.v1i2.2.
- [14] M. Kuhn and K. Johnson, *Applied predictive modeling*. 2013. doi: 10.1007/978-1-4614-6849-3.
- [15] A. Calcante and F. M. Tangorra, "Measuring Oxygen Saturation and Pulse rate in dairy cows before and after machine milking using a low-cost pulse oximeter r," *J. Agric. Eng.*, vol. 52, no. 1, 2021, doi: 10.4081/jae.2021.1155.