

# Sistem Keamanan pada Peternakan Sapi Menggunakan Kamera Termal dan Metode Algoritma YOLO

Hafid Mahdi Anudya Nayottama, Muhammad Rivai, dan Harris Pirngadi  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*E-mail*: muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Beberapa sapi dari peternakan sapi hilang acapkali dicuri manusia. Dengan terbatasnya penjagaan di waktu malam, diperlukan sistem keamanan pada peternakan sapi. Sistem menggunakan Kamera termal yang dapat digunakan di segala kondisi bahkan pada keadaan gelap gulita. Data gambar oleh kamera termal yang berukuran 160x120 dijadikan dataset yang kemudian dimasukkan ke metode YOLOv7 yang akan membedakan klasifikasi gambar menjadi manusia atau sapi. Model pada pelatihan ini memiliki nilai rata-rata presisi sebesar 80%. Sistem keamanan menggunakan speaker dan sistem komunikasi IoT kepada aplikasi android pengguna, sehingga ketika terdeteksi adanya penyusup, maka akan dilakukan pemrosesan gambar dan deteksi pada model dilatih menggunakan Jetson Nano. Kemudian gambar dan log persentase deteksi akan di-*upload* untuk dikirimkan ke smartphone pengguna serta alarm dinyalakan. Sistem diuji pada saat siang hari, sore hari, malam hari dengan cahaya serta tanpa cahaya yang memiliki hasil keseluruhan deteksi pada sapi dengan presisi 0.98, recall 0.67, F1-Score 0.79, akurasi 0.79, dan nilai keseluruhan pada deteksi manusia dengan presisi 0.72, recall 0.46, F1-Score 0.57, akurasi 0.75. Sistem bekerja dengan jangkauan operasi sistem sebesar 1-8 meter dan ketika adanya penyusup dan alarm menyala hampir pada seluruh pengujian kecuali pada malam hari tanpa cahaya pada jarak dekat yang terjadi *false positive* pada alarm.

**Kata Kunci**—Jetson Nano, Kamera Termal, Keamanan, YOLOv7.

## I. PENDAHULUAN

KEAMANAN merupakan faktor terpenting yang diinginkan oleh perseorangan bahkan perusahaan. Keamanan bukan hanya bebas dari kejahatan, namun juga bebas dari ancaman tindak kejahatan. Tindak kejahatan dapat terjadi dimana saja dan kapan saja dan setiap orang dapat menjadi korban. Berdasarkan Data Kriminalitas dari BPS pada tahun 2019 sebanyak 269.323 kejadian, dengan jenis kejadian pencurian merupakan kejahatan yang paling banyak terjadi pada desa/kelurahan di Indonesia dengan jumlah mencapai lebih dari 36-45 persen dari seluruh desa/kelurahan [1]. Pencurian sapi telah lama menjadi masalah di pedesaan, menyebabkan kerugian finansial dan tekanan emosional bagi petani [2].

Sistem keamanan pada peternakan sapi pada penelitian sebelumnya adalah *monitoring* dan *tracking* menggunakan RFID pada setiap sapi [3], kemudian menggunakan sistem Geofencing dan gps tracking pada setiap sapi [4]. Kedua metode itu cukup memakan biaya ketika peternakan sapi memiliki puluhan sampai ratusan sapi.

Pada akhir tahun 2022, sejumlah kecamatan di Wonogiri, terdapat pencurian hewan ternak sapi masih belum terungkap,

dan dalam beberapa tahun terakhir, ada beberapa kasus pencurian sapi yang terkenal di Indonesia. Pada tahun 2022, warga melakukan unjuk rasa di Polsek Mawasangka, Sulawesi dikarenakan kepolisian belum mengusut tuntas puluhan bahkan ratusan aduan pencurian sapi yang telah terjadi. Pada tahun 2020 juga terjadi enam pencurian sapi di Banyuwasin, Sumatra Selatan dengan kerugian total 65 juta rupiah. Kasus-kasus ini menggambarkan skala masalah dan perlunya langkah-langkah efektif untuk mencegah pencurian sapi dan diperlukan keamanan yang dapat diandalkan.

Oleh sebab itu, sistem keamanan perlu ditingkatkan dengan menggunakan sistem deteksi manusia yang menggunakan algoritme YOLO yang cepat dan akurat untuk menganalisis dan mengidentifikasi keberadaan manusia. Sistem ini dapat dilatih untuk mengenali jenis obyek tertentu secara langsung dan dapat memperingatkan pihak berwenang atau pemilik peternakan, agar sistem deteksi dapat diandalkan pada segala situasi. Kamera termal yang menggunakan teknologi inframerah untuk mendeteksi tanda panas yang memungkinkan kamera ini melihat objek dalam cahaya redup atau bahkan gelap gulita. Saat dipasang pada sistem keamanan sapi menggunakan *mini-pc*, kamera termal dapat mendeteksi keberadaan manusia atau hewan di area sekitar. Jika orang yang tidak berwenang terdeteksi, alarm dapat dipicu yang memperingatkan pihak berwenang atau pemilik peternakan akan potensi ancaman.

## II. TEORI

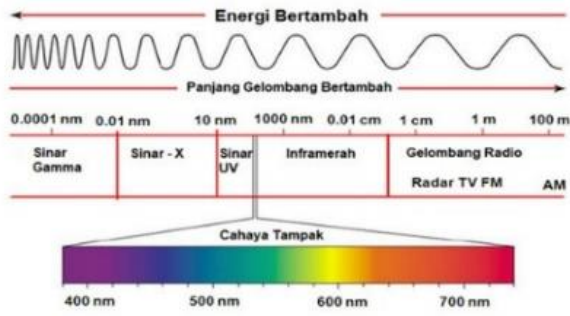
### A. Definisi Sistem Keamanan

Sistem keamanan terdiri dari dua kata, yaitu sistem, dan keamanan. Sistem merupakan suatu metode dalam melakukan aturan, cara bekerja sesuai rencana atau seperangkat aturan tertentu, dan keamanan merupakan tindakan yang diambil dalam melindungi suatu lingkungan atau tempat untuk memastikan bahwa hanya orang yang memiliki izin yang dapat masuk atau meninggalkannya [5]. Sehingga sistem keamanan adalah sekumpulan aturan yang dapat melindungi suatu lingkungan untuk memastikan bahwa hanya orang yang memiliki izin yang dapat masuk atau keluar.

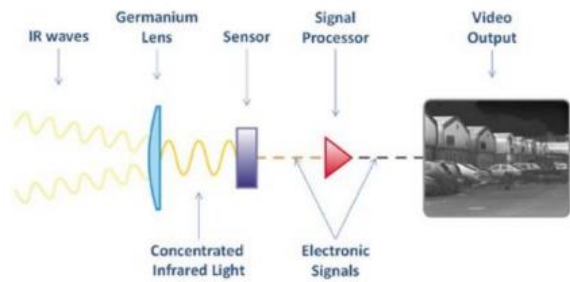
### B. Jenis Peternakan Sapi

Jenis peternakan sapi dapat dibagi menjadi dua berdasarkan manajemen pemeliharaan sapi, yaitu peternakan sapi komersial dan peternakan sapi rakyat. Pada peternakan sapi komersial, manajemen pemeliharaan sapi sudah dilakukan secara modern dari manajemen pemberian pakan, perkandangan, hingga kesehatan sapi. Kemudian pada

peternakan sapi rakyat, manajemennya masih dilakukan



Gambar 1. Pembagian spektrum cahaya dan letak spektrum infra merah.



Gambar 2. Cara kerja kamera termal.

Tabel 1. Infrared subdivision.

IR Sub-Division	Acronym	Wavelength
Near-IR	NIR	0.7-1.4
Short-wavelength IR	SWIR	1.4-3
Mid-wavelength IR	MWIR	3-8
Long-wavelength IR	LWIR	8-15
Far-IR	FIR	15-100

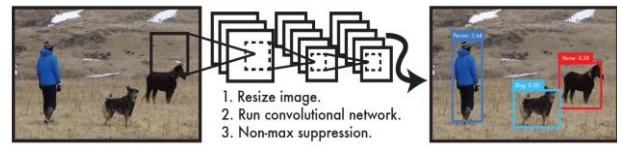
secara konvensional dengan motivasi sebagai usaha sampingan sehingga tidak dilakukan secara maksimal [6].

Jenis peternakan sapi juga dapat dibagi dua berdasarkan tujuannya, yaitu peternakan sapi perah, dan peternakan sapi potong. Pada sapi perah, ukuran kandang untuk dua ekor sapi adalah 3 x 1,8 meter [7]. Kemudian untuk sapi potong, ukuran kandang secara ideal adalah 2,10 x 1.45 meter untuk sapi potong lokal dan 2,10 x 1.5 meter untuk sapi potong impor [8].

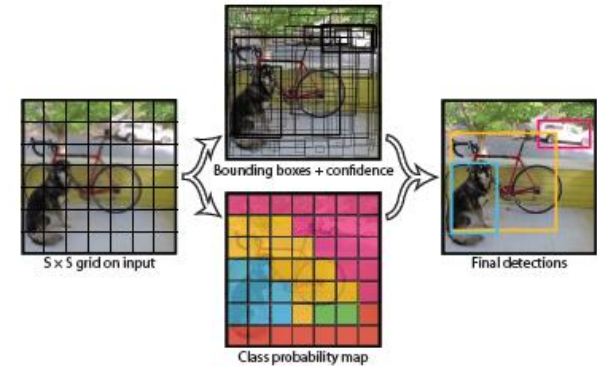
C. Kamera Termal

Kamera Termal merupakan sebuah teknologi sensor yang digunakan untuk membaca suhu ke benda atau ke permukaan berdasarkan pancaran inframerah yang dihasilkan benda tersebut. Kamera pada umumnya mampu mengambil gambar menggunakan cahaya tampak, tetapi kamera secara umum hanya mampu menangkap panjang gelombang pada rentang 400-700 nanometer dari cahaya tampak. Sedangkan kamera termal dapat menangkap panjang gelombang dari sekitar 1000 nm (1 µm) hingga sekitar 14.000 nm (14 µm). Kamera termal menangkap gambar dari energi panas. Energi panas dan cahaya merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik tetapi kamera yang dapat mendeteksi cahaya tampak tidak akan melihat energi panas. Pengelompokan cahaya tampak dan inframerah dapat dilihat pada Gambar 1. Cara kerja kamera termal dapat dilihat pada Gambar 2.

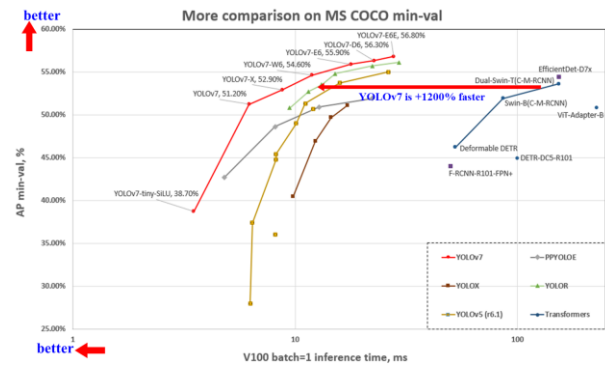
Kamera termal bekerja dengan membaca radiasi yang dilepaskan oleh setiap objek yang memiliki temperatur,



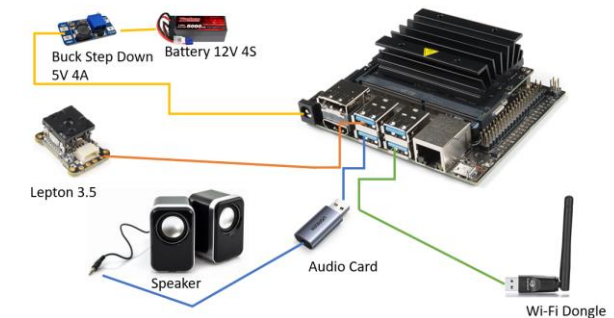
Gambar 3. Sistem deteksi YOLO.



Gambar 4. Model YOLO.



Gambar 5. Perbandingan YOLOv7 dengan versi sebelumnya.

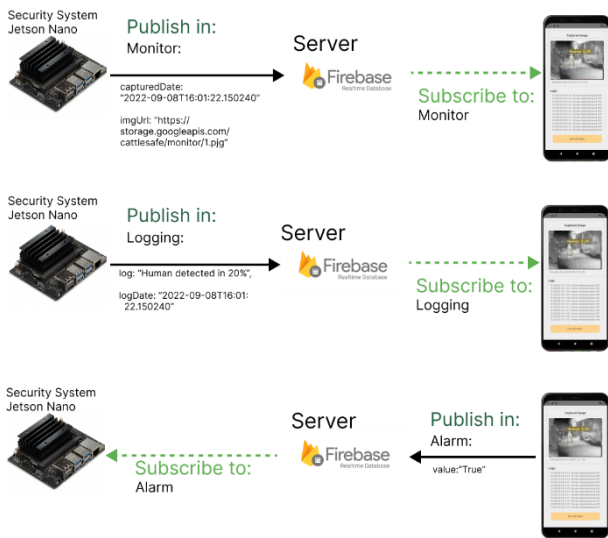


Gambar 6. Wiring pada sistem keamanan.

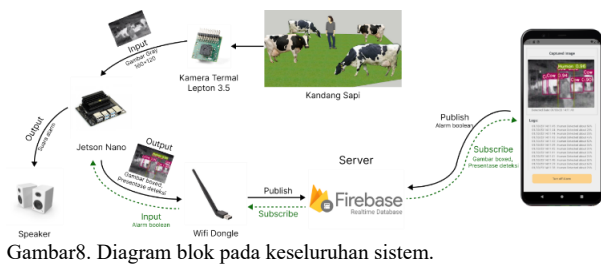
istilah ini disebut dengan radiasi termal. Pancaran radiasi yang digunakan oleh kamera termal berada di dalam spektrum inframerah. Radiasi ini dapat dibagi menjadi beberapa region spectral tergantung dari jaraknya. Sehingga bisa didapatkan bahwa emisi infra-red terdapat dari 0,7 µm sampai 1000 µm yang dapat ditunjukkan pada Tabel 1 [9].

D. Lepton 3.5

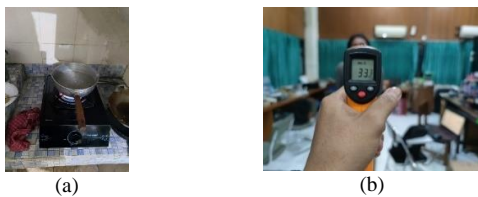
Radiometrik Lepton 3.5 merupakan kamera termal mikro dari FLIR yang memiliki suhu pengoperasian hingga +80°C dan dynamic range dari -10° sampai 400°C pada mode gain rendah. Lepton 3.5 memiliki output sebesar 160x120 piksel serta temperatur kerja yang optimal berada dari -10° sampai 80°C. Lepton 3.5 memiliki spesifikasi seperti sensitivitas termal kurang dari 50 mK dengan spectral range LWIR dari



Gambar 7. Rancangan komunikasi IoT.



Gambar 8. Diagram blok pada keseluruhan sistem.

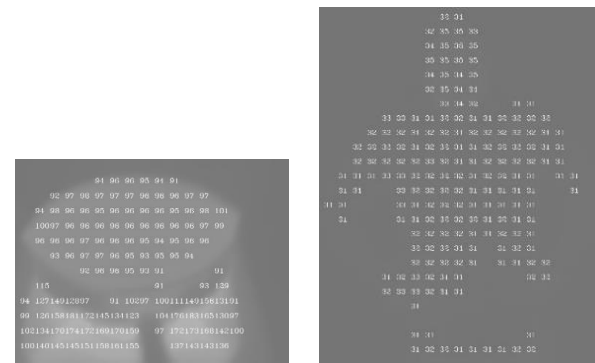


Gambar 9. Pengujian suhu: (a) air mendidih, (b) manusia dengan thermo-gun.

8-14 mikron, dan akurasi dari radiometrik pada mode gain tinggi adalah lebih besar dari  $-5^{\circ}\text{C}$  atau 5%, pada mode gain rendah, akurasinya kurang lebih berkisar pada  $-10^{\circ}\text{C}$  atau 10%. Lepton 3.5 juga memiliki ukuran piksel sebesar 12 mikrometer dengan frame rate sebesar 8.7 Hz. Format keluaran dari kamera ini dapat dipilih dari 14-bit, 8-bit, atau 24-bit RGB. Kamera ini memiliki *Field of Fiew*  $57^{\circ}$  dengan tipe lensa  $f/1.1$  dan konsumsi daya 150mW untuk keadaan normal, 650mW untuk keadaan *shutter*, dan 5mW dalam keadaan *standby*.

*E. You Only Look Once*

Pada algoritme deteksi objek sebelum YOLO, digunakan metode pengklasifikasi. Jadi untuk melakukan sistem deteksi obyek, sistem ini mengambil *classifier* untuk objek itu dan mengevaluasi di berbagai lokasi dan skala pada *test* data. Pada sistem deteksi objek yang lain seperti DPM atau *deformable parts* model menggunakan pendekatan jendela geser di mana *classifier* dijalankan di lokasi dengan jarak yang sama di seluruh gambar. Pada model R-CNN, digunakan region untuk memroses gambar dan menghasilkan kotak pembatas potensial dalam gambar terlebih dahulu, lalu klasifikasi dijalankan pada kotak yang telah diusulkan, lalu dilakukan *post-processing* untuk memperbaiki *bounding box*, mengeliminasi duplikasi dalam deteksi, dan menilai kembali kotak tersebut berdasarkan objek lain yang berada dalam



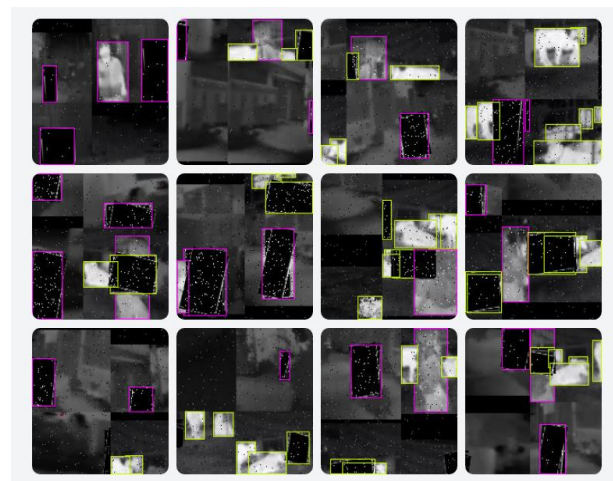
(a) (b)  
Gambar 10. Visualisasi suhu: (a) air mendidih, (b) manusia.



Gambar 11. Pengambilan *custom* dataset manusia pada siang hari.



Gambar 12. Pengambilan *custom* dataset sapi dan manusia pada malam hari.



Gambar 13. Hasil dari data augmentasi pada dataset.

gambar. Hal ini menyebabkan deteksi objek lambat dan sulit untuk dioptimalkan karena masing-masing komponen harus dilatih secara terpisah. Pada YOLO, satu CNN secara simultan dapat memprediksi banyak *bounding boxes* dan probabilitas objeknya. Sistem YOLO dapat dilihat pada Gambar 3 [10].

YOLO menggabungkan komponen terpisah dari deteksi objek ke satu *neural network* dan menggunakan fitur dari gambar keseluruhan untuk memprediksi setiap *bounding box* sehingga memungkinkan *end-to-end training* dan kecepatan yang *real-time* sambil mempertahankan presisi rata-rata yang tinggi. Model dari deteksi YOLO dapat dilihat pada Gambar 4 [10]. Versi YOLO yang terbaru telah dipublikasikan yaitu YOLO versi tujuh pada Juli 2022 yang memiliki klaim melampaui semua pendeteksi objek pada kecepatan dan akurasi dalam kisaran dari 5 FPS hingga 160 FPS. Metode ini memiliki akurasi tertinggi 56,8% AP di antara semua yang



Tabel 2.  
Statistik dari proses testing.

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Cow	0,87215	0,71134	1	0,81633
Human	0,83562	0,70492	1	0,784431



Gambar 14. Lokasi pengujian jarak jauh: (a) siang hari (b) sore hari (c) malam hari.



Gambar 15. Lokasi pengujian jarak dekat.

diketahui pendeteksi objek waktu nyata dengan 30 FPS atau lebih tinggi pada GPU v100 dengan perbandingan seperti pada Gambar 5 [11].

#### F. Jetson Nano

Jetson Nano merupakan developer kit pengembangan *artificial intelligence* (AI) yang digunakan untuk menjalankan berbagai model AI dengan kinerja yang sangat baik. Jetson Nano yang dibuat oleh NVIDIA ini ditenagai oleh *micro-USB* dan memiliki *multiple I/O pin*, dari *GPIO* sampai *CSI*. Dengan adanya *I/O pin* ini membuat jetson sangat mudah untuk menghubungkan sensor-sensor yang lain. Jetson Nano juga didukung oleh NVIDIA JetPack, yang berisi *board support package* (BSP), Linux OS, NVIDIA CUDA, cuDNN, dan tensorRT untuk *deep learning*, *computer vision*, serta *GPU computing*.

### III. PERANCANGAN SISTEM

#### A. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri dari serta percobaan satu persatu alat yang akan digunakan, kalibrasi kamera termal, desain dari prototipe IoT, dan wiring diagram alat yang dapat dilihat pada Gambar 6.

#### B. Pengujian Kamera Termal

Pada tahap ini dilakukan Pengujian kamera termal. Kamera termal Lepton 3.5 memiliki kalibrasi otomatis saat dinyalakan. Dalam penggunaannya, kamera termal Lepton 3.5 memiliki dua mode yaitu mode RGB888 dan *raw*, dan akan digunakan mode RGB888 untuk dapat digunakan seperti kamera pada umumnya. Dalam eksperimennya, dilakukan pengujian menggunakan air mendidih dan manusia

Tabel 3.  
Statistik Pengujian secara keseluruhan pada kamera termal.

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Cow	0,79052	0,985455	0,670792	0,798233
Human	0,759939	0,765957	0,465517	0,579088

Tabel 4.  
Statistik Pengujian secara keseluruhan pada kamera RGB.

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Cow	0,838102	0,96473	0,683824	0,800344
Human	0,571528	0,75406	0,224603	0,346113



Gambar 16. Alat sistem keamanan.

Tabel 5.  
Pengujian sistem keamanan secara keseluruhan.

Waktu Pengujian	Alarm
Siang jarak jauh	<i>true positive</i>
Siang jarak dekat	<i>true positive</i>
Sore jarak jauh	<i>true positive</i>
Sore jarak dekat	<i>true positive</i>
Malam jarak dekat dengan cahaya	<i>true positive</i>
Malam jarak jauh	<i>true positive</i>
Malam jarak dekat tanpa cahaya	<i>true positive</i>
Malam jarak jauh tanpa cahaya	<i>false positive</i>

dengan bantuan *thermo-gun*, kemudian dalam sistem akan digunakan mode RGB888 dan diuji apakah berfungsi dengan baik.

#### C. Pembuatan Custom Dataset

Diperlukan strategi dalam membuat dataset, karena sedikit penelitian sebelumnya yang menggunakan kamera termal yang tersebar di internet, dan setiap kamera termal memiliki mode gambar yang berbeda pula sehingga diperlukan pembuatan *custom dataset*. *Custom dataset* dengan kriteria menggunakan kamera termal pada malam hari tanpa cahaya, siang hari, dengan berbagai sudut kamera dengan manusia dari sedikit sampai banyak. Target dari dataset ini adalah terbentuknya 3 video yaitu manusia dan sapi dalam keadaan yang berbeda. Kemudian digunakan Teknik argumentasi seperti gambar dirotasi, diputar, dan dibalik. Teknik argumentasi ini dilakukan untuk memperbanyak jumlah dataset.

#### D. Training dan Testing Algoritma YOLOv7

Pada perancangan algoritma YOLO, yang pertama dilakukan adalah pemilihan model YOLO. Kemudian dilakukan *training* dengan menggunakan *custom dataset* yang telah didapatkan, lalu visualisasi *weight* dan *biases*, serta *test data* dengan *bounding boxes*. Kemudian model dicoba pada video testing yang telah disediakan. Ketika model dapat mengidentifikasi obyek, maka model akan diekspor menjadi

tensorRT untuk dapat di *deploy* ke Jetson Nano, kemudian dilakukan *tuning hyperparameter* untuk memperbaiki performa.

#### E. Pembuatan Sistem Alarm

Sistem alarm dibuat berdasarkan akurasi dari deteksi objek yang dilakukan oleh YOLO. Ketika akurasinya lebih dari cukup, maka akan dinyalakan alarm, dan pengiriman notifikasi kepada otoritas, atau pemilik rumah.

#### F. Pembuatan Database dan Sistem IoT

Sistem komunikasi berfungsi untuk membantu membuat sistem yang dapat berkomunikasi ke web atau aplikasi pada IOS maupun android secara *real-time* dengan meng-*upload* gambar, dan *timestamp* dengan menggunakan *database* firebase. Rancangan sistem komunikasi ini dapat dilihat pada Gambar 7.

#### G. Pengujian Sistem Deteksi

Pada tahap ini, sistem deteksi diuji secara menyeluruh, yaitu mulai dari kecepatan sistem dalam mendeteksi, penggunaan kamera termal saat pengujian data, sistem deteksi manusia dan sapi yang hasilnya direkam menggunakan *opencv* sehingga dapat dianalisis lebih lanjut dan didapatkan *confusion matrix* serta statistik pengujian sistem. Pengujian sistem deteksi juga diuji menggunakan kamera termal, dan kamera RGB untuk membandingkan apakah kamera termal bekerja lebih baik daripada kamera RGB. Kemudian pengujian juga diuji menggunakan obyek selain dari kelas deteksi (sapi dan manusia) untuk melihat apakah model dapat bekerja dengan baik.

#### H. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Sistem keamanan pada peternakan selalu mendeteksi manusia dan sapi, dan memberi log persentase deteksi selama 24 jam. Namun untuk membedakan antara manusia yang berwenang atau tidak, digunakan sistem alarm. Ketika ada manusia yang berwenang, sistem alarm dimatikan menggunakan *smartphone* sebelum memasuki peternakan sapi sehingga alarm dan notifikasi tidak dinyalakan namun log persentase dan *upload* tetap berjalan. Kemudian ketika ada manusia yang tidak berwenang, sistem alarm tidak dimatikan sehingga alarm pada sistem keamanan menyala dan notifikasi dikirimkan kepada *smartphone* pihak berwenang. Pada tahap ini sistem diuji ketika adanya manusia yang tidak diinginkan pada peternakan sapi sehingga membuat alarm menyala dengan diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 8.

## IV. HASIL DAN ANALISA DATA

### A. Pengujian Kamera Termal

Kamera termal Lepton 3.5 memiliki dua mode pengambilan gambar, yaitu RGB888 dan RAW dengan format *array* 160x120. Pada mode *raw* menggunakan metode radio telemetri dengan mendapatkan 16 bit data dengan setiap *pixel*-nya memiliki nilai senti-Kelvin. Pada pengujian kamera termal ini dilakukan perbandingan suhu antara kamera termal dengan suhu sebenarnya dengan pengujian pertama, yaitu menggunakan air mendidih yang memiliki suhu 100 °C dan percobaan kedua, digunakan manusia menggunakan *termogun* dengan suhu 33.2 °C yang dapat dilihat pada Gambar 9.

Hasil visualisasi suhu didapatkan sesuai dengan keadaan sebenarnya yang secara detail dapat dilihat pada Gambar 10.

### B. Pembuatan Dataset

Pengambilan dataset secara *custom* dilakukan dengan data dari kamera lepton 3.5 yang telah dilakukan *post-processing* menjadi gambar hitam putih diambil menjadi video. Kemudian setiap *frame* dari video tersebut dijadikan gambar. Pengambilan video dilakukan pada medan siang hari dengan manusia seperti pada Gambar 11, serta pengambilan sapi dan manusia pada malam hari seperti pada Gambar 12. Kemudian dilakukan augmentasi data untuk dapat memperbanyak serta mempertajam dataset dengan hasil dari augmentasi data yang dapat dilihat pada Gambar 13.

### C. Pelatihan, Validasi dan Testing Data menggunakan YOLOv7.

Pada penelitian ini digunakan YOLOv7 yang memiliki kecepatan dan akurasi dalam kisaran dari 5 FPS hingga 160 FPS dan memiliki akurasi tertinggi 56,8%. Tuning parameter dilakukan sebelum pelatihan *transfer-learning* mengganti jumlah *class* dan beberapa konfigurasi lainnya. Pada pelatihan dataset ini dilakukan 700 *epoch* atau pengulangan. Pada proses *training*, didapat mAP (*mean Average Precision*) dengan IoU (*intersection over Union*) sebesar 50% yang semakin baik dan maksimal pada *epoch* 417 grafik mAP 0.5. *Classification*, *bounding-box*, dan *objectness loss* pada *training* data juga dapat dilihat semakin menurun di setiap *epoch*. Pada data validasi, karena tabel klasifikasi hanya dua, yaitu manusia dan sapi, hasil pada *validation class loss* sudah kecil dan mengecil setiap *epoch*. Namun dapat dilihat bahwa data *training overfitting* pada *epoch* 500 ke atas, *Validation box loss* dan *objectness loss* juga mengecil setiap *epoch*.

Model yang telah di *training* dan divalidasi kemudian digunakan kembali kepada *test* data dengan parameter IoU *threshold* 0.9 dan *confidence threshold* 0.1. Hasilnya didapat bahwa model bekerja dengan baik yaitu pada obyek sapi, nilai f1-scorenya 0.81 dan pada obyek manusia, f1-scorenya sebesar 0.78 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

### D. Pengujian Sistem Deteksi

Pada pengujian ini, *inference time* didapat sebesar 2.5 FPS dengan *input* sebesar 9 FPS. Kemudian dilakukan pengujian pada saat siang hari, sore hari, malam hari dengan cahaya dan malam hari tanpa cahaya, dengan jarak jauh dan jarak dekat. Pengujian ini menggunakan model kamera termal yang telah dibuat sebelumnya dan model *default* YOLOv7 pada kamera RGB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.

Hasil dari pengujian didapatkan ketika siang dan sore hari, model yang telah dibuat pada kamera termal dan model *default* YOLOv7 sama-sama bekerja dengan baik. Namun pada malam hari, model kamera termal dapat bekerja dengan baik.

Kemudian hasil dari model kamera termal dan kamera RGB diakumulasi dan didapatkan bahwa pada model kamera termal pada obyek sapi memiliki nilai yang sama pada f1-score, yaitu 0.8. Tetapi pada obyek manusia, model kamera RGB berjalan dengan buruk dengan nilai f1-score sebesar 0.3 dan model pada kamera termal berjalan baik dengan nilai f1-score sebesar 0.57 yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Hal ini dapat disimpulkan bahwa model kamera termal

lebih baik di segala kondisi daripada model kamera RGB.

#### E. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem dapat dilakukan dengan membuat adanya manusia yang tidak berwenang, dengan kemungkinan hasil seperti alarm menyala dengan benar (*true positive*), alarm menyala namun tidak terdeteksi manusia (*false positive*), alarm mati namun ada manusia (*false negative*). Alat sistem keamanan ini dapat dilihat pada Gambar 16 dengan hasil pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5. Setelah dilakukan pengujian secara keseluruhan, jangkauan operasi sistem keamanan terutama pada sistem deteksi berada pada 1-8 meter.

### V. KESIMPULAN

Kamera termal dapat mendeteksi panas dari suhu tubuh secara cukup akurat sehingga dapat digunakan untuk keamanan pada peternakan sapi pada siang, sore dan malam hari. Model deteksi yang telah dilatih memiliki hasil yang baik dengan nilai *F1-Score* pada sapi sebesar 0.8 dan manusia sebesar 0.78, sehingga model dapat berjalan dengan baik. Sistem dapat mengirimkan *log* persentase deteksi dan gambar deteksi menggunakan firebase *realtime-database* secara langsung karena dijalankan secara paralel dan tidak mengganggu sistem deteksi yang sedang berjalan. Pada sistem komunikasi di aplikasi android, ketika sedang tidak membuka aplikasi, maka akan dikirimkan notifikasi pada *smartphone* pengguna, ketika membuka aplikasi maka *update* data dilakukan secara *realtime*. Sistem deteksi pada kamera termal dengan model yang telah dilatih, diuji pada kandang sapi saat siang hari, sore hari, malam hari dengan cahaya dan malam hari tanpa cahaya yang memiliki hasil keseluruhan deteksi pada sapi dengan nilai presisi 0.98, *recall* 0.67, *F1-Score* 0.79, dan nilai akurasi sebesar 0.79. Nilai keseluruhan pada deteksi manusia dengan presisi 0.76, *recall*

0.46, *F1-Score* 0.57, serta akurasi sebesar 0.75. Sehingga model dapat bekerja cukup baik dan lebih baik daripada model kamera RGB pada malam hari. Sistem Keamanan dapat bekerja dengan baik dengan adanya manusia dan alarm menyala hampir pada seluruh pengujian kecuali pada pengujian malam hari tanpa cahaya jarak dekat yang terjadi *false positive* pada alarm.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Statistik Kriminal 2022," Jakarta:Badan Pusat Statistik, pp. 36–37, 2022.
- [2] F. S. Nuvey *et al.*, "Poor mental health of livestock farmers in Africa: a mixed methods case study from Ghana," *BMC Public Health*, vol. 20, no. 1, pp. 1–12, 2020.
- [3] D. Gambo and D. S. Gwaza, "The use of radio frequency identification as a security measure to control cattle rustling in Nigeria," *J. Genet. Genet. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. PP1-8, 2018.
- [4] F. I. Anyasi, S. I. Uzairue, D. Mkpuluma, A. I. Idim, and J. Ighalo, "Design and implementation of a cattle grazing tracking and anti-theft alert GPS/GSM collar, leveraging on improvement in telecom and ICT infrastructure," *Asian J. Adv. Res. Reports*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2018.
- [5] R. Turner, "Collins english dictionary," *New Libr. World*, vol. 107, no. 1/2, pp. 81–83, 2006.
- [6] M. Hamdani, S. Sulastri, A. Husni, and others, "Perbandingan performa kuantitatif Sapi Brahman Cross di peternakan rakyat dengan di perusahaan komersial pada umur 18-24 bulan," *J. Ilmu dan Teknol. Peternak. Trop.*, vol. 5, no. 3, pp. 25–30, 2018.
- [7] E. K. Syarif and B. Harianto, *Buku Pintar Beternak & Bisnis Sapi Perah*, 1st ed. Jakarta: AgroMedia Pustaka, 2011.
- [8] S. M. Alif, *Kiat Sukses Penggemukan Sapi Potong*, 1st ed. Yogyakarta: Bio Genesis, 2017.
- [9] M. Rai, T. Maity, and R. K. Yadav, "Thermal imaging system and its real time applications: a survey," *J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 290–303, 2017.
- [10] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-time Object Detection," in *Proceedings of the IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition*, 2016, pp. 779–788.
- [11] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors," *arXiv Prepr. arXiv2207.02696*, 2022.