

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Sektor peternakan memainkan peran penting dalam perekonomian Indonesia, tidak hanya sebagai salah satu sumber penyedia pangan melalui produksi protein hewani, tetapi juga sebagai sumber pendapatan bagi masyarakat yang menjalankan usaha peternakan. Salah satu komoditas peternakan yang memiliki peran penting adalah sapi, baik sapi potong maupun sapi perah. Namun, proses pemeliharaan sapi di Indonesia masih banyak dilakukan secara konvensional, di mana pemantauan lokasi dan kondisi fisik ternak masih bergantung pada pengamatan langsung oleh peternak [1]. Metode tersebut memiliki keterbatasan, terutama pada sistem pemeliharaan semi-liar atau area penggembalaan yang luas, karena peternak tidak selalu dapat memantau keberadaan dan kondisi setiap ekor sapi secara tepat waktu [2].

Permasalahan utama yang muncul adalah kesulitan dalam melakukan pemantauan lokasi dan kondisi fisik sapi secara efektif. Pada sistem pemeliharaan dengan area yang luas, sapi dapat bergerak menjauh dari lokasi pemeliharaan sehingga berisiko tersesat, hilang, maupun dicuri. Di sisi lain, pemantauan kondisi kesehatan yang masih dilakukan secara manual menyebabkan perubahan kondisi fisik sapi tidak selalu dapat diketahui sejak awal. Keterlambatan dalam mengetahui adanya gangguan kesehatan dapat menyebabkan penanganan menjadi terlambat dan berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi bagi peternak, termasuk penurunan produktivitas maupun kematian ternak [3].

Kondisi tersebut menjadi semakin penting karena kesehatan sapi sangat berkaitan dengan produktivitas dan keberlanjutan usaha peternakan. Sapi yang mengalami gangguan kesehatan dapat menunjukkan perubahan pada kondisi fisik dan aktivitas, seperti penurunan aktivitas, perubahan suhu tubuh, serta perubahan parameter fisiologis lainnya. Namun, pemeriksaan parameter tersebut secara terus-menerus secara manual membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar. Selain itu, keterbatasan tenaga kerja dan luasnya area pemeliharaan dapat menyebabkan proses pengawasan tidak dilakukan secara optimal. Faktor lingkungan seperti 8

perubahan suhu dan kondisi cuaca juga dapat memengaruhi kondisi fisiologis sapi sehingga diperlukan pemantauan yang lebih konsisten [3].

Dampak dari permasalahan tersebut meliputi keterlambatan penanganan gangguan kesehatan, meningkatnya risiko kehilangan ternak, kerugian finansial bagi peternak, serta menurunnya kesejahteraan sapi. Peternak sebagai stakeholder utama membutuhkan informasi mengenai kondisi fisik dan lokasi sapi yang dapat diperoleh secara cepat tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung secara terus-menerus. Kurangnya data pemantauan secara real-time menyebabkan peternak memiliki keterbatasan dalam mengetahui kondisi sapi dan mengambil tindakan secara cepat ketika terjadi perubahan yang tidak normal [4].

Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang mampu membantu peternak melakukan pemantauan kondisi fisik dan lokasi sapi secara real-time. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah wearable device berbentuk kalung yang dilengkapi dengan sensor kondisi fisik, modul GPS, serta komunikasi nirkabel. Sensor dapat digunakan untuk memperoleh data parameter fisik sapi, sedangkan GPS digunakan untuk mengetahui lokasi dan pergerakan sapi. Data tersebut kemudian dapat dikirimkan melalui komunikasi nirkabel sehingga informasi mengenai kondisi dan keberadaan sapi dapat dipantau secara lebih efektif [5].

Penerapan wearable device diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual, membantu peternak mengetahui perubahan kondisi fisik sapi lebih awal, serta mempermudah pelacakan lokasi sapi pada area pemeliharaan yang luas. Dengan demikian, sistem dapat menjadi salah satu alternatif teknologi yang mendukung efisiensi pemantauan, mengurangi risiko kehilangan ternak, serta meningkatkan pengelolaan dan kesejahteraan sapi.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Data dan fakta berikut menunjukkan permasalahan yang dihadapi dalam pemeliharaan sapi di Indonesia, khususnya terkait kesulitan dalam melakukan pemantauan lokasi dan kondisi fisik sapi secara efektif. Permasalahan tersebut semakin relevan pada peternakan rakyat dan sistem pemeliharaan semi-liar yang memiliki area pemeliharaan luas serta akses yang tidak selalu mudah. Metode

pemantauan manual masih banyak digunakan oleh peternak, sehingga proses pemeriksaan kondisi sapi dan keberadaannya membutuhkan waktu serta tenaga yang cukup besar. Kondisi tersebut dapat menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui perubahan kondisi fisik sapi maupun keberadaan sapi yang keluar dari area pemeliharaan.

Kondisi eksternal pada peternakan sapi, seperti keterbatasan akses terhadap ternak, jumlah ternak yang cukup banyak, dan luasnya area pemeliharaan, menjadi salah satu faktor yang menyebabkan pemantauan tidak dapat dilakukan secara optimal. Sapi yang mengalami gangguan kesehatan dapat menunjukkan perubahan pada kondisi fisik dan aktivitasnya yang terkadang sulit diketahui secara cepat melalui pemeriksaan manual. Selain itu, sapi yang dipelihara pada area terbuka memiliki risiko tersesat, keluar dari area pemeliharaan, maupun hilang akibat pencurian. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi mengenai kondisi fisik dan lokasi sapi secara berkala dan real-time.

1. Risiko Kehilangan Sapi dan Kerugian Ekonomi Akibat Pencurian maupun Tersesat

Kehilangan ternak merupakan salah satu permasalahan yang dapat memberikan dampak ekonomi bagi peternak. Studi berbasis GIS menunjukkan bahwa tanpa dukungan teknologi pelacakan, sekitar 15–20% ternak berpotensi hilang atau sulit ditemukan kembali, yang secara langsung dapat berdampak terhadap kerugian ekonomi [4]. Selain risiko tersesat, kasus pencurian sapi juga masih menjadi permasalahan di berbagai daerah di Indonesia. Pada tahun 2025, kasus pencurian sapi dilaporkan terjadi di beberapa daerah seperti Blitar, Tuban, Lumajang, Maluku Utara, Brebes, Boyolali, dan Probolinggo. Pelaku sering menggunakan kendaraan untuk mengangkut ternak yang dicuri sehingga menyulitkan proses pencarian. Kehilangan sapi dapat menyebabkan kerugian yang cukup besar bagi peternak, khususnya peternak rakyat yang menjadikan sapi sebagai salah satu aset utama [6][7].

Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya sistem pelacakan lokasi sapi yang dapat memberikan informasi posisi ternak secara berkala. Dengan adanya sistem berbasis GPS, peternak dapat mengetahui lokasi sapi tanpa harus mencari secara langsung ke seluruh area pemeliharaan.

2. Keterbatasan Pemantauan Kondisi Fisik Sapi pada Peternakan Semi-Liar

Pada sistem pemeliharaan sapi semi-liar atau pada area penggembalaan yang luas, keterbatasan akses membuat pengawasan kondisi fisik sapi tidak dapat dilakukan secara terus-menerus. Pemeriksaan kesehatan umumnya masih dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kondisi fisik dan aktivitas sapi. Metode tersebut membutuhkan waktu dan tenaga, terutama apabila jumlah sapi yang dipelihara cukup banyak dan berada pada lokasi yang berjauhan.

Sapi yang mengalami gangguan kesehatan dapat menunjukkan perubahan aktivitas, nafsu makan, maupun kondisi fisik. Namun, perubahan tersebut tidak selalu dapat diketahui secara cepat apabila pemeriksaan hanya dilakukan pada waktu tertentu. Kondisi ini dapat menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui adanya gangguan kesehatan dan memperbesar risiko terjadinya kondisi yang lebih serius [1].

Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memperoleh data kondisi fisik sapi secara berkala melalui sensor yang dipasang pada perangkat wearable. Parameter seperti suhu tubuh, detak jantung, dan kadar oksigen dalam darah (SpO_2) dapat digunakan sebagai informasi pendukung dalam proses pemantauan kondisi sapi.

3. Ancaman Penyakit Ternak terhadap Kesehatan dan Produktivitas Sapi

Penyakit merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi kesehatan dan produktivitas sapi. Sistem pemeliharaan terbuka atau penggembalaan pada area yang luas dapat meningkatkan kemungkinan kontak antara sapi dengan ternak lain maupun lingkungan yang berpotensi membawa agen penyakit. Beberapa penyakit pada sapi juga dapat memiliki dampak terhadap kesehatan hewan maupun manusia, seperti antraks, brucellosis, dan leptospirosis [8].

Selain penyakit tersebut, Indonesia juga menghadapi ancaman Penyakit Mulut dan Kuku (PMK) yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan menurunkan produktivitas ternak. Pada tahun 2025, kasus PMK dilaporkan meningkat secara signifikan, dengan 13.287 kasus hingga Januari yang tersebar di 29 provinsi dan peningkatan kasus sebesar 40% pada periode Juli–Agustus. Kondisi tersebut menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi peternak [9].

Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya pemantauan kondisi fisik sapi secara lebih intensif. Data sensor tidak digunakan sebagai pengganti diagnosis dokter hewan, tetapi dapat menjadi informasi awal yang membantu peternak mengetahui adanya perubahan kondisi sapi sehingga pemeriksaan lebih lanjut dapat dilakukan dengan lebih cepat.

4. Tingginya Kebutuhan Produk Sapi dan Perlunya Inovasi Teknologi

Kebutuhan masyarakat terhadap produk peternakan, termasuk daging sapi, terus mendorong peningkatan produksi dan pemeliharaan ternak. Produksi daging sapi nasional pada tahun 2024 mencapai lebih dari 479 ribu ton, dengan konsentrasi produksi terbesar berada di Provinsi Jawa Timur [10]. Meskipun demikian, produksi dalam negeri masih belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan konsumsi nasional sehingga Indonesia masih memiliki ketergantungan terhadap pasokan dari luar negeri.

Peningkatan kebutuhan tersebut perlu diimbangi dengan pengelolaan ternak yang lebih efektif. Penambahan populasi sapi tanpa didukung sistem pemantauan yang memadai dapat meningkatkan beban kerja peternak serta memperbesar risiko keterlambatan dalam mengetahui kondisi kesehatan dan keberadaan sapi. Oleh karena itu, penerapan teknologi pemantauan berbasis IoT dapat menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi pengawasan ternak dan mendukung pengelolaan sapi secara berkelanjutan [11].

5. Dampak Iklim dan Perubahan Lingkungan terhadap Kondisi Sapi

Perubahan cuaca dan kondisi lingkungan dapat memengaruhi kesehatan dan produktivitas sapi. Salah satu kondisi yang perlu diperhatikan adalah stres panas (heat stress) yang dapat terjadi ketika sapi terpapar suhu lingkungan yang tinggi dalam waktu tertentu. Kondisi tersebut dapat memengaruhi aktivitas, konsumsi pakan, dan produktivitas sapi.

Perubahan lingkungan yang tidak menentu menyebabkan pemantauan kondisi sapi menjadi semakin penting. Pemantauan menggunakan sensor dapat membantu memperoleh data kondisi fisik sapi secara berkala sehingga perubahan kondisi yang berkaitan dengan lingkungan dapat diketahui lebih awal. Dengan demikian,

peternak dapat melakukan pemeriksaan dan tindakan penanganan sesuai dengan kondisi yang ditemukan.

Salah satu cara yang dilakukan peternak apabila terdapat sapi yang menunjukkan gejala gangguan kesehatan adalah dengan melakukan pemeriksaan secara langsung dan memisahkan sapi tersebut dari sapi lainnya apabila diperlukan. Namun, proses tersebut membutuhkan tambahan ruang atau kandang serta meningkatkan beban pekerjaan peternak. Selain itu, apabila gejala tidak diketahui sejak awal, terdapat risiko keterlambatan dalam melakukan pemisahan dan penanganan.

Dalam proses pemeliharaan sapi, kesehatan menjadi salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan kualitas ternak. Sapi yang mengalami gangguan kesehatan atau terinfeksi penyakit dapat menunjukkan perubahan pada perilaku, kondisi fisik, aktivitas, dan pola makan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan produktivitas bahkan dapat berujung pada kematian apabila tidak segera mendapatkan penanganan.

Gejala umum pada sapi yang mengalami gangguan kesehatan dapat diamati melalui perubahan kondisi fisik dan perilaku, seperti kepala yang cenderung menunduk, mata terlihat sayu, kondisi tubuh atau rambut yang tampak kusam, serta penurunan aktivitas [3]. Oleh karena itu, pengamatan terhadap kondisi fisik dan aktivitas sapi merupakan salah satu langkah penting dalam pemantauan kesehatan ternak.

Secara umum, peternak sapi memiliki alur kerja sebagai berikut:

Pagi: Memberikan pakan dan minum serta mengamati kondisi sapi yang tampak lemas, mengalami perubahan aktivitas, atau menunjukkan kondisi fisik yang tidak normal.

Siang: Melakukan pemeriksaan area pemeliharaan, memastikan ketersediaan pakan dan minum, serta memantau kondisi lingkungan dan keberadaan sapi.

Sore: Melakukan pemeriksaan kembali terhadap kondisi sapi dan memastikan seluruh sapi masih berada pada area pemeliharaan sebelum aktivitas peternakan berakhir.

Dalam periode tertentu, peternak juga melakukan pengecekan menyeluruh terhadap seluruh sapi untuk memastikan tidak terdapat sapi yang sakit, mati, atau keluar dari area pemeliharaan. Namun, apabila jumlah sapi cukup banyak dan area pemeliharaan luas, proses pemantauan manual membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar. Kondisi tersebut meningkatkan risiko keterlambatan dalam mengetahui perubahan kondisi kesehatan maupun keberadaan sapi.

Adapun solusi yang telah tersedia untuk mengatasi permasalahan tersebut di antaranya:

1. Metode Konvensional

Metode konvensional dilakukan dengan cara peternak mengamati secara langsung kondisi fisik sapi, seperti nafsu makan, aktivitas harian, dan tanda-tanda gangguan kesehatan. Cara ini masih banyak digunakan pada peternakan rakyat karena tidak membutuhkan perangkat teknologi tambahan [12].

Kelebihan: Biaya sangat rendah dan tidak membutuhkan perangkat teknologi tambahan.

Kekurangan: Sangat bergantung pada pengalaman peternak, membutuhkan waktu dan tenaga, berisiko terjadi keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi sapi, serta sulit diterapkan secara optimal pada jumlah ternak yang banyak dan area pemeliharaan yang luas.

2. Smart Collar Berbasis IoT dengan GPS Tracking

Perangkat smart collar berbasis IoT dikembangkan untuk memantau kondisi sapi sekaligus melacak lokasi ternak menggunakan GPS. Data hasil pemantauan dapat dikirimkan menuju aplikasi atau cloud sehingga dapat diakses oleh peternak secara real-time [13].

Kelebihan: Mampu memberikan informasi lokasi sapi, membantu menemukan sapi yang hilang atau tersesat, mendukung pemantauan kondisi ternak, serta memungkinkan integrasi dengan sistem manajemen peternakan.

Kekurangan: Biaya perangkat dan layanan dapat relatif mahal serta beberapa sistem membutuhkan koneksi internet yang stabil sehingga penerapannya dapat menjadi kurang optimal pada wilayah peternakan dengan keterbatasan jaringan.

3. Smart Collar Monitoring

Smart Collar Monitoring merupakan teknologi pemantauan ternak berbasis perangkat pintar yang dipasang dalam bentuk kalung pada leher sapi. Perangkat dapat dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti akselerometer, sensor suhu, serta modul komunikasi berbasis Internet of Things (IoT), yang digunakan untuk memantau aktivitas, lokasi, dan kondisi kesehatan ternak secara real-time [14].

Kelebihan: Dapat melakukan pemantauan dalam jangka waktu panjang, mendukung deteksi dini terhadap perubahan kondisi kesehatan dan aktivitas sapi, serta membantu peternak dalam memperoleh informasi untuk pengambilan keputusan.

Kekurangan: Beberapa implementasi lebih berfokus pada pemantauan kesehatan atau aktivitas tertentu dan belum tentu menyediakan kombinasi pemantauan parameter vital, lokasi GPS, komunikasi data, serta sistem pemantauan yang sesuai dengan kebutuhan peternakan rakyat.

Berdasarkan beberapa solusi yang telah ada tersebut, diperlukan pengembangan wearable device yang disesuaikan dengan kebutuhan peternakan sapi, khususnya untuk pemantauan kondisi fisik dan lokasi sapi. Solusi yang dikembangkan memanfaatkan sensor untuk memperoleh parameter kondisi fisik, GPS untuk mengetahui lokasi sapi, serta komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data hasil pemantauan. Dengan pendekatan tersebut, sistem diharapkan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap pemeriksaan manual dan memberikan informasi kondisi serta keberadaan sapi secara lebih efektif.

1.1.2 Analisis Masalah

Berdasarkan permasalahan utama yang telah diuraikan, yaitu kesulitan dalam memantau lokasi dan kondisi fisik sapi secara efektif, terutama pada peternakan sapi dengan area pemeliharaan yang luas dan akses yang sulit, analisis masalah mengidentifikasi beberapa akar penyebab utama. Permasalahan tersebut meliputi

pemantauan kondisi sapi yang masih dilakukan secara manual, keterbatasan peternak dalam memperoleh data kondisi fisik dan lokasi sapi secara real-time, serta risiko sapi tersesat atau hilang dari area pemeliharaan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui perubahan kondisi fisik sapi maupun keberadaan sapi, sehingga tindakan penanganan tidak dapat dilakukan secara cepat. Oleh karena itu, diperlukan solusi berbasis wearable device yang mampu melakukan pemantauan kondisi fisik dan lokasi sapi secara otomatis dan real-time. Berikut pembahasan masalah berdasarkan berbagai aspek.

1.1.2.1 Aspek Ekonomi:

Peternak dapat mengalami kerugian finansial akibat kondisi kesehatan sapi yang tidak terpantau dan terlambat ditangani, serta kehilangan aset akibat sapi tersesat atau dicuri [9]. Oleh karena itu, konstrain utama dari aspek ekonomi adalah solusi yang dirancang harus memiliki biaya yang relatif rendah agar dapat menjadi alternatif yang ekonomis dan terjangkau bagi peternak. Selain itu, perangkat harus menggunakan komponen yang mudah diperoleh dan mudah diganti sehingga biaya pemeliharaan dapat ditekan serta perawatan perangkat dapat dilakukan secara mandiri oleh peternak.

1.1.2.2 Aspek Lingkungan:

Sapi yang tidak terpantau dengan baik dapat berpotensi keluar dari area pemeliharaan dan berinteraksi dengan lingkungan di luar area peternakan. Selain itu, kondisi kesehatan sapi yang tidak diketahui secara dini dapat meningkatkan risiko penyebaran penyakit kepada ternak lain di sekitar peternakan [8]. Konstrain lingkungan pada solusi yang diusulkan meliputi penggunaan perangkat yang memiliki konsumsi daya rendah dan material yang memiliki daya tahan terhadap kondisi lingkungan peternakan. Perangkat juga harus mampu beroperasi pada kondisi seperti paparan debu, air, kotoran, dan perubahan suhu tanpa menimbulkan dampak negatif tambahan terhadap lingkungan.

1.1.2.3 Aspek Sustainability:

Keterbatasan pemantauan dan tingginya ketergantungan terhadap pemeriksaan manual dapat menyebabkan proses pemeliharaan sapi menjadi kurang efisien dan

sulit dilakukan secara berkelanjutan, khususnya pada peternakan dengan jumlah sapi yang banyak atau area pemeliharaan yang luas. Konstrain sustainability mencakup penggunaan perangkat dengan konsumsi energi yang efisien, sehingga perangkat dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama tanpa memerlukan pengisian daya secara terus-menerus. Selain itu, penggunaan komponen yang mudah diperoleh, mudah dirawat, dan memiliki masa pakai yang baik diharapkan dapat mendukung keberlanjutan penggunaan sistem dalam jangka panjang.

1.1.2.4 Aspek Manufakturabilitas:

Solusi wearable device dapat dirancang menggunakan komponen elektronik yang relatif mudah diperoleh dan tersedia di pasaran, seperti mikrokontroler, sensor kondisi fisik, modul GPS, modul komunikasi nirkabel, dan baterai. Perangkat juga perlu memiliki konstruksi yang mampu melindungi komponen elektronik dari kondisi lingkungan peternakan [8]. Konstrain manufakturabilitas meliputi penggunaan komponen standar yang tersedia secara luas serta desain perangkat yang modular agar proses perakitan, penggantian, dan perbaikan komponen dapat dilakukan dengan relatif mudah. Desain perangkat juga perlu mempertimbangkan ukuran, berat, dan metode pemasangan pada kalung sapi agar tidak mengganggu aktivitas maupun kenyamanan sapi.

1.1.2.5 Aspek Sosial:

Penerapan teknologi pada peternakan perlu mempertimbangkan kemampuan dan kebiasaan peternak dalam menggunakan perangkat teknologi. Sebagian peternak masih memiliki keterbatasan dalam literasi teknologi sehingga diperlukan sistem yang mudah digunakan dan tidak menambah beban dalam aktivitas pemeliharaan sehari-hari [15]. Konstrain sosial dari solusi yang diusulkan adalah perangkat harus memiliki cara penggunaan dan perawatan yang sederhana serta antarmuka sistem yang mudah dipahami. Perangkat wearable juga harus dirancang secara non-invasif dan tidak mengganggu aktivitas maupun kesejahteraan sapi. Dengan penggunaan sistem yang sederhana dan adanya pelatihan dasar, teknologi diharapkan dapat diterima dan digunakan oleh peternak tanpa memerlukan perubahan besar terhadap rutinitas pemeliharaan sapi.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Adapun kebutuhan performa yang harus dipenuhi oleh solusi yang ditawarkan adalah sebagai berikut :

1. Sistem mampu memantau kondisi fisik sapi secara real-time, meliputi suhu tubuh, detak jantung, dan kadar oksigen dalam darah (SpO_2) menggunakan sensor yang terpasang pada perangkat wearable.
2. Sistem mampu memberikan informasi mengenai kondisi fisik sapi berdasarkan data sensor yang diperoleh, sehingga perubahan kondisi yang tidak normal dapat diketahui oleh peternak sebagai bahan untuk melakukan pemeriksaan lebih lanjut.
3. Sistem mampu memantau posisi geografis sapi menggunakan GPS secara akurat, sehingga lokasi dan pergerakan sapi dapat diketahui ketika dibutuhkan.
4. Sistem mampu mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan informasi lokasi dari perangkat wearable menuju sistem penerima melalui komunikasi nirkabel secara stabil, sehingga data pemantauan dapat diterima dan ditampilkan dengan baik.
5. Perangkat wearable harus memiliki daya tahan yang baik dan mampu beroperasi pada kondisi lingkungan peternakan, termasuk paparan debu, air, kotoran, serta guncangan selama sapi melakukan aktivitas.
6. Perangkat harus memiliki konsumsi daya yang efisien sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa memerlukan pengisian ulang baterai secara terlalu sering.
7. Sistem mampu menyajikan data kondisi fisik dan lokasi sapi dalam bentuk informasi yang ringkas dan mudah dipahami, sehingga dapat membantu peternak dalam mengetahui kondisi dan keberadaan sapi secara cepat.
8. Sistem mampu melakukan proses pemantauan dan pengiriman data secara otomatis tanpa memerlukan pengoperasian secara terus-menerus oleh peternak, sehingga dapat mengurangi beban dalam melakukan pemeriksaan sapi secara manual.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka diperlukan pengembangan sebuah sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi fisik,

perilaku, serta lokasi ternak secara real-time. Sistem ini diharapkan dapat memberikan informasi dan peringatan dini kepada peternak apabila terdeteksi adanya tanda-tanda penyakit atau penurunan produktivitas, sehingga penanganan dapat dilakukan lebih cepat untuk mencegah kerugian dan memastikan kesejahteraan ternak.

1.2 Solusi

Sebagai upaya untuk mengatasi kesulitan dalam memantau lokasi, kondisi fisik, dan produktivitas ternak secara efektif, maka diusulkan pengembangan sebuah sistem pemantauan ternak berbasis teknologi sensor dan pemrosesan data real-time. Sistem ini akan dilengkapi dengan perangkat sensor yang mampu mengukur parameter vital ternak, mendeteksi perilaku tidak normal, serta melacak posisi geografis ternak secara akurat. Data yang diperoleh akan dikirim dan diolah secara real-time sehingga dapat memberikan gambaran kondisi ternak secara menyeluruh. Selain itu, sistem akan menyediakan fitur pemberitahuan otomatis kepada peternak apabila terdeteksi adanya gejala penyakit, penurunan produktivitas, atau kondisi yang berpotensi menimbulkan risiko. Dengan adanya informasi yang cepat, akurat, dan mudah dipahami, peternak dapat mengambil tindakan yang tepat tanpa harus melakukan pengawasan manual secara terus-menerus. Solusi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi potensi kerugian, serta menjaga kesejahteraan ternak secara lebih optimal.

1.2.1 Karakteristik Produk

1.2.2.1 Fitur Dasar

a) Computing Performance

Sistem harus mampu mengolah data sensor dan menyajikannya dalam bentuk informasi yang ringkas serta mudah dipahami, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan dengan cepat dan tepat.

b) Sensing Capability

Sistem harus dilengkapi dengan sensor yang mampu mengukur parameter vital sapi, seperti suhu tubuh, detak jantung, dan aktivitas fisik. Selain itu, modul GPS diperlukan untuk memastikan pemantauan posisi geografis ternak secara akurat.

Kombinasi keduanya mendukung pengawasan kesehatan sekaligus pelacakan lokasi sapi secara efektif.

c) Metode Komputasi

Data yang diperoleh dari sensor diolah menggunakan metode komputasi berbasis Internet of Things (IoT). Hasil pengolahan data ditransformasi menjadi informasi yang lebih ringkas, seperti deteksi dini penyakit atau peringatan lokasi sapi yang keluar dari area penggembalaan.

d) Tahan terhadap Berbagai Kondisi

Perangkat dirancang tahan terhadap kondisi lapangan yang keras, seperti guncangan, air, dan kotoran, agar dapat beroperasi dengan andal dan memiliki masa pakai yang panjang.

e) Komunikasi dan Transmisi Data Nirkabel

Perangkat dilengkapi dengan modul komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data sensor ke server pusat atau software pendukung, sehingga sistem dapat diakses kapan saja meskipun jarak pemantauan jauh.

1.2.2.2 Fitur Tambahan

a) Real-Time Monitoring

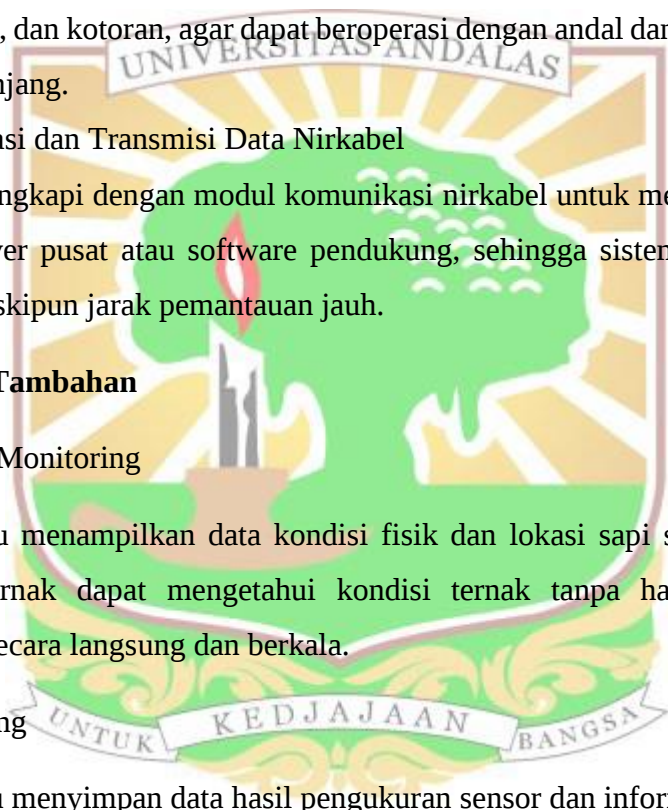
Sistem mampu menampilkan data kondisi fisik dan lokasi sapi secara real-time sehingga peternak dapat mengetahui kondisi ternak tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung dan berkala.

b) Data Logging

Sistem mampu menyimpan data hasil pengukuran sensor dan informasi lokasi sapi secara berkala. Data yang tersimpan dapat digunakan sebagai riwayat pemantauan untuk membantu peternak dalam melakukan evaluasi terhadap kondisi sapi.

c) Notifikasi Peringatan

Sistem mampu memberikan notifikasi apabila terdapat parameter kondisi fisik sapi yang berada di luar batas yang telah ditentukan atau terjadi perubahan lokasi yang perlu diperhatikan. Fitur ini dapat membantu peternak melakukan tindakan lebih cepat terhadap kondisi yang tidak normal.



d) Efisiensi Konsumsi Daya

Perangkat dirancang dengan mempertimbangkan penggunaan daya yang efisien agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama tanpa perlu melakukan pengisian daya secara berulang dalam waktu yang singkat.

e) Kemudahan Penggunaan dan Pemasangan

Perangkat dirancang agar mudah dipasang dan digunakan pada tubuh sapi dengan tetap mempertimbangkan kenyamanan ternak. Bentuk dan pemasangan perangkat juga tidak mengganggu aktivitas normal sapi selama proses pemantauan.

f) Identifikasi Perangkat dan Ternak

Setiap perangkat memiliki identitas atau device ID yang berbeda sehingga data yang diterima dapat dikaitkan dengan sapi tertentu. Fitur ini memudahkan proses identifikasi dan pemantauan beberapa sapi dalam satu sistem.

g) Pemantauan Status Perangkat

Sistem mampu memantau status perangkat, seperti kondisi baterai dan keberadaan koneksi komunikasi. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui apakah perangkat masih dapat beroperasi dan mengirimkan data dengan baik.

1.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan analisis masalah dan kebutuhan yang telah diidentifikasi, usulan solusi dirancang untuk mengatasi kesulitan pemantauan lokasi, kondisi fisik, dan produktivitas ternak secara real-time. Untuk ternak sapi semi-liar yang sering berkeliaran di area luas, usulan solusi difokuskan pada teknologi pemantauan mobilitas dan kesehatan yang portabel serta tahan cuaca, dengan integrasi data realtime untuk deteksi dini risiko seperti pencurian, tersesat, atau kondisi tubuh sapi yang drop saat di luar kandang. Berikut usulan solusi spesifik:

1. Solusi 1: Wearable Device untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi dengan GPS dan Sensor

Perangkat untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi dengan GPS dan Sensor dirancang sebagai perangkat wearable yang dipasang pada tubuh sapi. Perangkat ini dilengkapi dengan modul GPS untuk pelacakan lokasi dan sensor

vital, seperti sensor suhu tubuh dan detak jantung. Data yang dikumpulkan diproses secara real-time oleh mikrokontroler dan dikirim ke server berbasis Internet of Things (IoT) agar dapat dianalisis lebih lanjut. Informasi yang dihasilkan kemudian ditampilkan dalam bentuk yang ringkas melalui software pendukung, sehingga peternak dapat memantau lokasi serta kondisi kesehatan sapi secara akurat dan cepat. Dengan demikian, solusi ini mampu memenuhi kebutuhan pemantauan parameter vital dan posisi geografis ternak sebagaimana ditetapkan pada kebutuhan sistem. Sistem ini bekerja dengan prinsip data acquisition and transmission, di mana setiap perangkat wearable secara periodik mengumpulkan data sensor kemudian mengirimkannya melalui modul komunikasi nirkabel menuju server pusat. Server IoT bertugas menyimpan, mengolah, dan menampilkan data dalam antarmuka visual berbasis peta digital dan grafik kondisi fisik sapi. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan mekanisme early warning yang akan mengirimkan notifikasi ke software pendukung apabila terdeteksi adanya anomali, seperti peningkatan suhu tubuh sapi atau perubahan lokasi yang tidak sesuai area penggembalaan. Dengan rancangan ini, proses pemantauan dapat dilakukan secara otomatis, efisien, dan responsif terhadap perubahan kondisi di lapangan.

2. Solusi 2: Smart Gate untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi Berbasis Sensor Otomatis

Smart Gate untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi Berbasis Sensor Otomatis dirancang untuk mendeteksi dan mencatat data setiap sapi saat melewati area tertentu, seperti pintu kandang, jalur makan, atau area minum. Sistem ini dilengkapi dengan sensor RFID untuk mengidentifikasi individu sapi melalui tag 7 yang terpasang di telinga atau kalung, serta sensor suhu tubuh non-kontak berbasis infrared atau thermal imaging untuk mendeteksi kondisi fisik sapi tanpa perlu kontak langsung. Ketika sapi melewati gerbang, sistem secara otomatis membaca data identitas dan parameter vital, kemudian mengirimkannya ke server berbasis Internet of Things (IoT) untuk diproses secara real-time. Data yang diperoleh digunakan untuk melacak kehadiran dan kondisi kesehatan sapi tanpa memerlukan perangkat wearable yang dipasang permanen. Sistem Smart Gate bekerja dengan prinsip event-based monitoring, di mana data hanya dikumpulkan ketika sapi melintasi sensor. Setiap unit gate memiliki ID lokasi unik yang merepresentasikan

titik pemantauan tertentu di area peternakan. Informasi yang terkirim ke server mencakup identitas sapi, waktu deteksi, suhu tubuh, serta lokasi gate yang dilalui. Data ini kemudian diolah menjadi riwayat aktivitas dan pola pergerakan sapi, yang dapat ditampilkan melalui aplikasi monitoring dalam bentuk daftar kehadiran maupun peta lokasi terakhir. Selain itu, sistem juga dapat dikombinasikan dengan perangkat wearable seperti kalung pintar untuk memberikan validasi silang antara data GPS dan data dari Smart Gate. Dengan desain modular dan hemat energi, Smart Gate menjadi solusi efisien, minim perawatan, serta sesuai untuk diterapkan pada sistem peternakan semi-liar di Indonesia.

3. Solusi 3: Sistem Pemantau untuk Analisis Perilaku dan Lokasi Sapi Berbasis Computer Vision

Sistem Pemantau untuk Analisis Perilaku dan Lokasi Sapi Berbasis Computer Vision dikembangkan dengan memanfaatkan kamera statis yang dipasang di titik titik strategis area peternakan. Kamera ini merekam aktivitas ternak secara terus menerus, kemudian data citra yang diperoleh diproses menggunakan algoritma computer vision untuk mengenali identitas sapi, melacak pergerakan, serta menganalisis perilaku seperti frekuensi makan, pola berjalan, interaksi antar sapi, atau tanda fisik abnormal yang mengindikasikan penyakit atau stres. Data hasil analisis diproses secara real-time dan disajikan dalam bentuk informasi ringkas melalui antarmuka sistem monitoring. Dengan demikian, solusi ini memungkinkan peternak melakukan pengawasan lokasi dan kondisi fisik sapi secara otomatis, sekaligus memenuhi kebutuhan akan deteksi dini perilaku abnormal. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip visual-based monitoring, di mana kamera berfungsi sebagai sensor utama untuk mendeteksi keberadaan dan aktivitas sapi tanpa perlu perangkat tambahan pada tubuh hewan. Setiap kamera mengirimkan data video ke server lokal atau cloud, di mana proses analisis dilakukan menggunakan model machine learning seperti object detection (misalnya YOLO atau Faster R-CNN) untuk mendeteksi posisi sapi dan pose estimation untuk mengidentifikasi perilaku. Hasil analisis berupa peta pergerakan dan statistik perilaku ditampilkan melalui dashboard monitoring. Dalam konteks peternakan semi-liar, sistem ini cocok diterapkan di area kandang atau titik tertentu yang dilalui sapi secara rutin, seperti

area pakan atau penimbangan, sehingga memungkinkan pemantauan otomatis tanpa kontak langsung dengan hewan.

1.2.3 Analisa Usulan Solusi

Berdasarkan beberapa usulan solusi yang telah diajukan, perlu dilakukan analisis untuk menentukan solusi yang paling sesuai dalam membantu peternak melakukan pemantauan lokasi dan kondisi fisik sapi secara efektif. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode House of Quality (HoQ) untuk membandingkan setiap usulan solusi berdasarkan kebutuhan pengguna dan fitur-fitur utama yang relevan, seperti kemampuan pemantauan kondisi fisik sapi, pelacakan lokasi, pemantauan secara real-time, serta keandalan sistem. Hasil analisis HoQ digunakan sebagai dasar dalam menentukan solusi yang paling sesuai untuk dikembangkan pada sistem pemantauan sapi. Berikut merupakan HoQ yang digunakan untuk menganalisis usulan solusi sistem.

Untuk menentukan solusi terbaik, diperlukan analisis terhadap berbagai solusi yang telah diajukan. Metode analisis yang akan digunakan adalah metode House of Quality (HoQ) seperti tabel dibawah ini.

KONSTRAIN DESAIN	Rank of Importance	Fitur Dasar					Rank of Importance	Percent of Importance	Solusi 1 Solusi 2 Solusi 3		
		Computing Performance	Sensing Capability	Metode Komputasi	Tahan terhadap Kondisi berbagai Lingkungan	Komunikasi dan Transmisi Data Nirkabel					
Aspek Ekonomi (Low cost ≤ Rp 6.000.000 dan pemeliharaan mudah)	3	○	○	○	△	○	3	15%	○	○	△
Aspek Lingkungan (Material ramah lingkungan ≥ 70%, tidak menimbulkan dampak negatif)	3	△	●	○	●	○	3	15%	○	○	●
Aspek Sustainability (Konsumsi energi spesifik maks. 2-3 kWh/kg produk kering)	5	●	○	●	○	○	5	25%	○	○	○
Aspek Manufakturabilitas (Desain modular, komponen standar, produksi & perakitan sederhana)	4	○	●	○	●	△	4	20%	○	○	○
Aspek Sosial (Mudah digunakan, literasi teknologi rendah, pelatihan sederhana, non-invasif)	5	△	○	●	△	●	5	25%	○	●	○
Importance Rating		52	74	70	54	26	20	100%			
Percent of Importance		18.84%	26.81%	25.36%	19.57%	9.42%		100%	4.43	3.39	4.10
Solusi 1		3	5	5	5	3	4.43				
Solusi 2		3	3	3	5	3	3.39				
Solusi 3		5	5	3	3	5	4.10				

Relationships:	
△	Berlawanan = 1
○	Sedang = 3
●	Berhubungan Erat = 5

Gambar 1. 1 House of Quality Solusi untuk Permasalahan Ternak Sapi

Proses analisis House of Quality (HoQ) dimulai dengan menentukan Rank of Importance untuk setiap konstrain desain yang telah diidentifikasi. Konstrain tersebut meliputi aspek ekonomi, aspek lingkungan, aspek sustainabilitas, aspek manufakturabilitas, dan aspek sosial. Penentuan konstrain ini bertujuan untuk memastikan bahwa solusi yang dirancang tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan fungsional sistem, tetapi juga mempertimbangkan biaya implementasi, dampak lingkungan, keberlanjutan penggunaan, kemudahan proses manufaktur, serta penerimaan oleh pengguna. Nilai Rank of Importance diberikan pada skala 1 hingga 5, di mana nilai 5 menunjukkan konstrain yang memiliki prioritas paling tinggi dalam proses perancangan, sedangkan nilai 1 menunjukkan prioritas yang lebih rendah. Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, aspek sustainabilitas dan aspek sosial memperoleh nilai prioritas tertinggi sebesar 5, aspek manufakturabilitas memperoleh nilai 4, sedangkan aspek ekonomi dan aspek lingkungan masing-masing memperoleh nilai 3.

Tahap berikutnya adalah menentukan hubungan antara setiap konstrain desain dengan fitur dasar (engineering characteristics) yang menjadi dasar pengembangan sistem. Fitur dasar yang digunakan pada penelitian ini meliputi Computing Performance, Sensing Capability, Metode Komputasi, Tahan terhadap Kondisi, dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel. Tingkat hubungan antara konstrain dan fitur dasar dinyatakan menggunakan simbol segitiga yang menunjukkan hubungan lemah dengan nilai 1, lingkaran yang menunjukkan hubungan sedang dengan nilai 3, serta lingkaran bertitik yang menunjukkan hubungan kuat dengan nilai 5. Seluruh fitur dasar memiliki arah peningkatan (positive direction), yang menunjukkan bahwa peningkatan performa pada setiap fitur dasar akan meningkatkan kemampuan sistem dalam memenuhi konstrain yang telah ditetapkan.

Hubungan pertama dianalisis antara Aspek Ekonomi dengan Computing Performance, yang diberikan simbol lingkaran dengan nilai 3 sehingga menunjukkan hubungan sedang. Semakin tinggi kemampuan komputasi suatu sistem umumnya akan meningkatkan kebutuhan spesifikasi perangkat keras yang berdampak pada peningkatan biaya. Namun, perkembangan mikrokontroler modern seperti ESP32 memungkinkan sistem memiliki kemampuan komputasi

yang memadai dengan harga relatif terjangkau sehingga konstrain biaya masih dapat dipenuhi. Hubungan antara aspek ekonomi dan Sensing Capability juga diberikan nilai 3 karena pemilihan sensor yang digunakan berpengaruh terhadap biaya keseluruhan sistem. Sensor MLX90614, MAX30102, dan GPS NEO-6M dipilih karena memiliki keseimbangan antara harga, ketersediaan, dan performa pengukuran sehingga mampu menjaga biaya sistem tetap ekonomis. Hubungan antara aspek ekonomi dengan Metode Komputasi juga dinilai sedang karena implementasi Internet of Things (IoT) memerlukan server dan jaringan komunikasi, tetapi biaya operasional dapat ditekan dengan memanfaatkan layanan cloud yang ekonomis. Hubungan antara aspek ekonomi dengan Tahan terhadap Kondisi diberi simbol segitiga yang menunjukkan hubungan lemah karena penggunaan material dengan tingkat ketahanan tinggi umumnya meningkatkan biaya produksi. Sementara itu, hubungan antara aspek ekonomi dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel dinilai sedang karena penggunaan teknologi LoRa mampu menyediakan komunikasi jarak jauh dengan biaya operasional yang relatif rendah dibandingkan teknologi komunikasi berbasis seluler.

Hubungan antara Aspek Lingkungan dengan Computing Performance menunjukkan hubungan lemah karena peningkatan kemampuan komputasi tidak secara langsung memengaruhi dampak lingkungan dari sistem. Sebaliknya, hubungan dengan Sensing Capability dinilai kuat karena kemampuan sensor dalam mendeteksi kondisi kesehatan sapi secara dini mampu mengurangi risiko penyebaran penyakit kepada ternak lain maupun lingkungan sekitar. Hubungan dengan Metode Komputasi diberikan nilai sedang karena pemanfaatan IoT memungkinkan proses monitoring dilakukan secara efisien tanpa meningkatkan penggunaan sumber daya secara berlebihan. Selanjutnya, hubungan dengan Tahan terhadap Kondisi dinilai kuat karena penggunaan material yang tahan lama dan dapat didaur ulang mendukung prinsip pengelolaan lingkungan sesuai ISO 14001:2015. Hubungan antara aspek lingkungan dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel dinilai sedang karena komunikasi nirkabel mendukung pemantauan tanpa memerlukan infrastruktur fisik yang berpotensi meningkatkan dampak terhadap lingkungan.

Hubungan antara Aspek Sustainability dengan Computing Performance menunjukkan hubungan kuat dengan nilai 5. Kemampuan komputasi yang baik memungkinkan sistem mengolah data sensor secara cepat dan efisien sehingga penggunaan sumber daya dapat dioptimalkan. Selain itu, pemanfaatan mikrokontroler yang memiliki performa tinggi dengan konsumsi daya rendah mendukung operasional perangkat dalam jangka panjang. Hubungan antara aspek sustainability dengan Sensing Capability dinilai sedang karena sensor berperan dalam menyediakan data yang dibutuhkan untuk menjaga kesehatan ternak, namun keberlanjutan sistem lebih dipengaruhi oleh efisiensi pengolahan data dan manajemen energi. Selanjutnya, hubungan antara aspek sustainability dengan Metode Komputasi dinilai kuat karena penerapan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan proses monitoring dilakukan secara otomatis, efisien, dan berkesinambungan. Data yang diperoleh dapat disimpan dan dianalisis secara terus-menerus sehingga membantu peternak dalam mengambil keputusan secara lebih tepat. Hubungan dengan Tahan terhadap Kondisi diberikan nilai sedang karena ketahanan perangkat terhadap lingkungan peternakan turut memengaruhi umur pakai sistem. Sementara itu, hubungan antara aspek sustainability dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel juga dinilai sedang karena komunikasi data yang stabil mendukung keberlangsungan proses monitoring tanpa memerlukan intervensi pengguna secara terus-menerus.

Hubungan antara Aspek Manufakturabilitas dengan Computing Performance menunjukkan hubungan sedang. Pemilihan mikrokontroler yang umum digunakan dan mudah diperoleh akan mempermudah proses produksi perangkat tanpa mengurangi kemampuan komputasi yang dibutuhkan. Hubungan dengan Sensing Capability dinilai kuat karena sensor yang digunakan harus mudah diperoleh di pasaran, memiliki standar kualitas yang baik, serta mudah dipasang pada perangkat. Hubungan antara aspek manufakturabilitas dan Metode Komputasi menunjukkan hubungan sedang karena implementasi perangkat lunak berbasis IoT dapat dilakukan menggunakan platform dan pustaka (library) yang tersedia secara luas sehingga mempermudah proses pengembangan sistem. Hubungan dengan Tahan terhadap Kondisi diberikan nilai kuat karena desain perangkat harus menggunakan material yang mampu bertahan terhadap kondisi lingkungan peternakan, seperti

debu, percikan air, dan perubahan suhu. Selain itu, penggunaan komponen standar dan desain modular mempermudah proses perakitan maupun penggantian komponen apabila terjadi kerusakan. Sementara itu, hubungan antara aspek manufakturabilitas dengan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel dinilai lemah karena teknologi komunikasi yang digunakan tidak memberikan pengaruh secara langsung terhadap kemudahan proses manufaktur.

Hubungan terakhir dianalisis pada Aspek Sosial. Hubungan antara aspek sosial dan Computing Performance diberikan nilai lemah karena peningkatan kemampuan komputasi tidak secara langsung memengaruhi tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem. Sebaliknya, hubungan antara aspek sosial dengan Sensing Capability menunjukkan hubungan sedang karena data yang dihasilkan sensor menjadi dasar informasi yang diterima oleh peternak dalam melakukan pemantauan kesehatan ternak. Hubungan antara aspek sosial dan Metode Komputasi diberikan nilai kuat karena penerapan teknologi IoT memungkinkan informasi hasil monitoring disajikan secara sederhana melalui aplikasi mobile sehingga mudah dipahami oleh pengguna dengan tingkat literasi teknologi yang beragam. Hubungan antara aspek sosial dengan Tahan terhadap Kondisi dinilai lemah karena ketahanan perangkat lebih berkaitan dengan aspek teknis dibandingkan kenyamanan pengguna. Sementara itu, hubungan antara aspek sosial dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel diberikan nilai kuat karena komunikasi data secara real-time memungkinkan peternak memperoleh informasi kondisi ternak secara cepat tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung. Kemudahan akses terhadap informasi tersebut meningkatkan efektivitas pemantauan sekaligus mendorong penerimaan teknologi oleh pengguna di lingkungan peternakan.

Berdasarkan hasil pembobotan pada House of Quality diperoleh nilai Importance Rating untuk masing-masing fitur dasar, yaitu Computing Performance sebesar 52, Sensing Capability sebesar 74, Metode Komputasi sebesar 70, Tahan terhadap Kondisi Berbagai Lingkungan sebesar 54, dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel sebesar 26. Nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi persentase kepentingan (Percent of Importance) sehingga diperoleh bobot masing-masing fitur dasar sebesar 18,84%, 26,81%, 25,36%, 19,57%, dan 9,42%. Bobot tersebut

digunakan untuk menghitung tingkat kesesuaian setiap alternatif solusi terhadap kebutuhan sistem.

Perhitungan nilai masing-masing alternatif solusi dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

1. Solusi 1: $(3 \times 18,84\%) + (5 \times 26,81\%) + (5 \times 25,36\%) + (5 \times 19,57\%) + (3 \times 9,42\%) = 4,43$
2. Solusi 2: $(3 \times 18,84\%) + (3 \times 26,81\%) + (3 \times 25,36\%) + (5 \times 19,57\%) + (3 \times 9,42\%) = 3,39$
3. Solusi 3: $(5 \times 18,84\%) + (5 \times 26,81\%) + (3 \times 25,36\%) + (3 \times 19,57\%) + (5 \times 9,42\%) = 4,10$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, Solusi 1 memperoleh nilai tertinggi sebesar 4,43, diikuti oleh Solusi 3 sebesar 4,10, dan Solusi 2 sebesar 3,39. Hasil ini menunjukkan bahwa Solusi 1 memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi terhadap fitur dasar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, Solusi 1 dipilih sebagai alternatif yang paling sesuai untuk dikembangkan pada penelitian ini karena mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kemampuan komputasi, kemampuan penginderaan, metode komputasi, ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan peternakan, serta komunikasi data nirkabel.

Selanjutnya, setiap alternatif solusi dianalisis lebih lanjut berdasarkan keterkaitannya terhadap konstrain desain yang meliputi aspek ekonomi, lingkungan, sustainabilitas, manufakturabilitas, dan sosial untuk memberikan justifikasi terhadap pemilihan solusi yang digunakan dalam penelitian.

1. Analisa Usulan Solusi 1

Berdasarkan hasil House of Quality, Solusi 1 memperoleh nilai total sebesar 4,43, sehingga menjadi alternatif dengan skor tertinggi dibandingkan dua solusi lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa solusi ini memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi terhadap kebutuhan sistem berdasarkan fitur dasar maupun konstrain desain yang telah ditetapkan. Solusi 1 berupa sistem kalung pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memantau kondisi kesehatan dan lokasi sapi secara real-time menggunakan sensor suhu tubuh MLX90614, sensor detak jantung

dan saturasi oksigen MAX30102, modul GPS NEO-6M, komunikasi LoRa, serta aplikasi mobile sebagai media monitoring.

Berdasarkan fitur dasar, Solusi 1 memiliki hubungan yang kuat terhadap Sensing Capability. Hal ini disebabkan karena sistem memanfaatkan beberapa sensor yang mampu mengukur parameter fisiologis sapi secara langsung, meliputi suhu tubuh, detak jantung, saturasi oksigen (SpO_2), serta lokasi GPS. Kemampuan penginderaan tersebut memungkinkan sistem memperoleh data kesehatan ternak secara akurat sehingga peternak dapat mengetahui kondisi sapi tanpa melakukan pemeriksaan secara langsung.

Hubungan yang kuat juga ditunjukkan pada Metode Komputasi, karena sistem menerapkan konsep Internet of Things (IoT) dalam proses pengumpulan, pengiriman, penyimpanan, hingga penyajian data. Data hasil pembacaan sensor dikirim menggunakan komunikasi LoRa menuju gateway, kemudian diteruskan ke server melalui jaringan internet. Selanjutnya data disimpan ke dalam basis data dan ditampilkan melalui aplikasi mobile sehingga peternak dapat melakukan pemantauan kapan saja secara real-time. Arsitektur tersebut memungkinkan proses monitoring berlangsung secara otomatis dan berkelanjutan.

Pada fitur Tahan terhadap Kondisi Berbagai Lingkungan, Solusi 1 juga memiliki hubungan yang kuat. Perangkat dirancang dalam bentuk kalung pintar yang dipasang pada leher sapi menggunakan casing pelindung sehingga mampu digunakan pada lingkungan peternakan terbuka. Selain itu, penggunaan komunikasi LoRa memungkinkan proses transmisi data tetap berjalan pada area yang luas dengan konsumsi daya yang relatif rendah dibandingkan teknologi komunikasi lainnya.

Sementara itu, hubungan terhadap Computing Performance dan Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel berada pada kategori sedang. Mikrokontroler ESP32 yang digunakan memiliki kemampuan komputasi yang memadai untuk mengolah data sensor dan mengendalikan komunikasi LoRa, meskipun tidak memerlukan kemampuan komputasi yang sangat tinggi sebagaimana sistem berbasis pengolahan citra (computer vision). Pada sisi komunikasi, penggunaan LoRa telah mampu memenuhi kebutuhan pengiriman data kesehatan dan lokasi secara periodik dengan

konsumsi energi yang efisien, walaupun kecepatan transmisinya tidak setinggi teknologi komunikasi berbasis Wi-Fi atau jaringan seluler.

Ditinjau dari konstrain desain, Solusi 1 memenuhi aspek ekonomi karena seluruh komponen penyusun sistem, seperti ESP32 LoRa, sensor MLX90614, MAX30102, GPS NEO-6M, dan baterai Li-Po, memiliki harga yang relatif terjangkau sehingga biaya implementasi masih berada di bawah batas yang telah ditentukan. Selain itu, desain perangkat yang sederhana memudahkan proses perawatan maupun penggantian komponen apabila terjadi kerusakan.

Pada aspek lingkungan, sistem mendukung upaya deteksi dini terhadap gangguan kesehatan sapi sehingga dapat meminimalkan risiko penyebaran penyakit pada ternak lain maupun lingkungan sekitar. Penggunaan perangkat elektronik dengan konsumsi daya rendah juga membantu mengurangi kebutuhan energi selama proses operasional.

Dari sisi sustainabilitas, sistem dirancang agar mampu beroperasi dalam jangka panjang melalui penggunaan komunikasi LoRa yang hemat energi serta mikrokontroler dengan fitur low-power mode. Selain meningkatkan efisiensi operasional peternakan, sistem juga membantu menjaga produktivitas ternak melalui pemantauan kesehatan secara berkelanjutan.

Pada aspek manufakturabilitas, seluruh komponen yang digunakan merupakan komponen standar yang mudah diperoleh di pasaran sehingga mempermudah proses produksi maupun perakitan perangkat. Desain perangkat yang bersifat modular juga memungkinkan proses pemeliharaan dilakukan secara lebih mudah apabila terdapat komponen yang mengalami kerusakan.

Selanjutnya pada aspek sosial, Solusi 1 menawarkan aplikasi mobile dengan antarmuka yang sederhana sehingga mudah digunakan oleh peternak. Informasi kondisi kesehatan sapi disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami melalui tampilan nilai suhu tubuh, detak jantung, saturasi oksigen, lokasi GPS, serta notifikasi apabila terdeteksi kondisi abnormal. Dengan demikian, peternak dapat mengambil tindakan lebih cepat tanpa memerlukan kemampuan teknis yang tinggi.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, Solusi 1 mampu memenuhi sebagian besar fitur dasar serta konstrain desain yang telah ditetapkan sehingga memperoleh nilai akhir 4,43 dan dipilih sebagai solusi terbaik pada penelitian ini. Kombinasi antara kemampuan monitoring kesehatan secara real-time, efisiensi energi, biaya implementasi yang relatif rendah, serta kemudahan penggunaan menjadikan sistem kalung pintar berbasis IoT sebagai solusi yang paling sesuai untuk diterapkan pada peternakan sapi semi-intensif maupun semi-liar.

2. Analisa Usulan Solusi 2

Berdasarkan hasil House of Quality, Solusi 2 memperoleh nilai total sebesar 3,39, sehingga menempati peringkat terakhir di antara ketiga alternatif solusi yang dianalisis. Solusi ini berupa sistem Smart Gate yang ditempatkan pada jalur keluar masuk sapi untuk melakukan identifikasi dan pengukuran kondisi kesehatan ketika ternak melewati titik pemeriksaan. Sistem bekerja menggunakan sensor dan perangkat identifikasi otomatis sehingga data hanya diperoleh pada saat sapi berada di area gerbang pemantauan.

Ditinjau dari fitur dasar, Solusi 2 memiliki hubungan sedang terhadap Computing Performance, Sensing Capability, dan Metode Komputasi. Hal ini disebabkan karena proses pengolahan data hanya dilakukan ketika sapi melewati gerbang sehingga kebutuhan komputasi relatif lebih rendah dibandingkan sistem pemantauan yang bekerja secara terus-menerus. Sensor yang digunakan juga hanya aktif pada saat proses identifikasi berlangsung sehingga kemampuan penginderaan terbatas pada waktu tertentu dan tidak mampu memberikan informasi kondisi kesehatan secara berkelanjutan.

Pada fitur Tahan terhadap Kondisi Berbagai Lingkungan, Solusi 2 memiliki hubungan yang kuat. Perangkat Smart Gate dipasang secara permanen pada area peternakan sehingga dapat dirancang menggunakan material yang kokoh dan tahan terhadap kondisi lingkungan luar, seperti paparan sinar matahari, hujan, debu, maupun benturan. Selain itu, proses perawatan perangkat juga relatif lebih mudah karena seluruh komponen berada pada satu lokasi yang tetap.

Sementara itu, hubungan terhadap Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel berada pada kategori sedang. Sistem hanya mengirimkan data ketika terjadi proses

pembacaan pada gerbang sehingga kebutuhan komunikasi tidak berlangsung secara kontinu. Meskipun mampu mengurangi konsumsi daya, kondisi tersebut menyebabkan informasi yang diperoleh bersifat periodik dan tidak dapat digunakan untuk memantau perubahan kondisi sapi secara real-time ketika ternak berada di luar area gerbang.

Ditinjau dari konstrain desain, Solusi 2 memenuhi aspek ekonomi karena hanya membutuhkan satu unit perangkat yang dipasang pada lokasi tertentu sehingga biaya implementasi relatif lebih rendah dibandingkan sistem yang harus dipasang pada setiap ekor sapi. Selain itu, biaya pemeliharaan perangkat juga lebih sederhana karena seluruh komponen berada pada satu titik.

Pada aspek lingkungan, sistem mampu membantu proses pemeriksaan kesehatan sebelum sapi memasuki atau meninggalkan area peternakan sehingga dapat mengurangi risiko penyebaran penyakit. Namun, kemampuan tersebut masih terbatas karena deteksi hanya dilakukan ketika sapi melewati gerbang dan tidak dapat memantau kondisi kesehatan secara terus-menerus.

Dari sisi sustainabilitas, Smart Gate memiliki konsumsi energi yang relatif rendah karena sensor dan perangkat hanya aktif pada saat proses identifikasi berlangsung. Akan tetapi, sistem belum mampu mendukung pemantauan kesehatan secara berkesinambungan sehingga efektivitasnya dalam meningkatkan produktivitas ternak masih lebih rendah dibandingkan sistem monitoring berbasis wearable.

Pada aspek manufakturabilitas, Solusi 2 menggunakan komponen standar yang mudah diperoleh serta memiliki desain yang relatif sederhana sehingga proses produksi maupun perakitan dapat dilakukan dengan mudah. Namun, pembangunan infrastruktur gerbang memerlukan penyesuaian terhadap kondisi peternakan sehingga penerapannya kurang fleksibel pada lahan penggembalaan yang luas.

Selanjutnya pada aspek sosial, penggunaan Smart Gate tidak memerlukan interaksi yang rumit dari peternak karena proses identifikasi berlangsung secara otomatis. Meskipun demikian, sistem mengharuskan seluruh sapi melewati gerbang agar data dapat diperoleh. Pada peternakan semi-liar atau sistem penggembalaan terbuka, kondisi tersebut cukup sulit diterapkan karena pergerakan sapi tidak selalu dapat dikendalikan.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, Solusi 2 memiliki keunggulan pada kemudahan instalasi, biaya implementasi yang relatif rendah, serta ketahanan perangkat terhadap lingkungan peternakan. Akan tetapi, keterbatasannya dalam melakukan pemantauan kesehatan dan lokasi secara real-time menyebabkan solusi ini belum mampu memenuhi kebutuhan sistem secara optimal. Oleh karena itu, Solusi 2 memperoleh nilai akhir 3,39, sehingga berada di bawah Solusi 1 dan Solusi 3 dalam hasil evaluasi House of Quality.

3. Analisa Usulan Solusi 3

Berdasarkan hasil House of Quality, Solusi 3 memperoleh nilai total sebesar 4,10, sehingga menempati peringkat kedua setelah Solusi 1. Solusi ini merupakan sistem pemantauan berbasis computer vision yang memanfaatkan kamera dan algoritma pengolahan citra untuk mengidentifikasi lokasi, aktivitas, serta kondisi sapi secara otomatis. Data hasil pengamatan kemudian dikirim ke server untuk diolah dan ditampilkan melalui aplikasi monitoring sehingga peternak dapat memperoleh informasi mengenai kondisi ternak tanpa melakukan pengamatan secara langsung.

Berdasarkan fitur dasar, Solusi 3 memiliki hubungan yang kuat terhadap Computing Performance. Hal ini disebabkan karena proses pengolahan citra digital membutuhkan kemampuan komputasi yang tinggi untuk menjalankan algoritma computer vision dalam mendeteksi objek, mengenali aktivitas ternak, serta melakukan analisis secara real-time. Semakin tinggi kemampuan komputasi yang dimiliki sistem, semakin cepat pula proses analisis citra dapat dilakukan sehingga informasi yang dihasilkan menjadi lebih akurat.

Hubungan yang kuat juga ditunjukkan pada Sensing Capability karena kamera berfungsi sebagai sensor utama dalam memperoleh informasi visual mengenai kondisi sapi. Melalui proses pengolahan citra, sistem dapat mengidentifikasi keberadaan sapi, memantau aktivitas, serta mengamati perubahan perilaku yang dapat menjadi indikasi awal adanya gangguan kesehatan. Selain itu, hubungan terhadap Komunikasi serta Transmisi Data Nirkabel juga tergolong kuat karena hasil pengolahan citra perlu dikirimkan ke server maupun aplikasi monitoring agar dapat diakses oleh peternak secara real-time.

Sementara itu, hubungan terhadap Metode Komputasi dan Tahan terhadap Kondisi Berbagai Lingkungan berada pada kategori sedang. Meskipun sistem dapat diintegrasikan dengan teknologi Internet of Things (IoT), sebagian besar proses analisis dilakukan menggunakan algoritma pengolahan citra sehingga kebutuhan terhadap metode komputasi IoT tidak sebesar pada sistem berbasis wearable. Selain itu, perangkat kamera memerlukan posisi pemasangan tertentu agar mampu memperoleh sudut pandang yang optimal, sehingga efektivitas sistem sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, pencahayaan, dan jangkauan area pemantauan.

Ditinjau dari konstrain desain, Solusi 3 memiliki kelemahan pada aspek ekonomi. Implementasi sistem memerlukan kamera berkualitas tinggi, perangkat pemrosesan dengan kemampuan komputasi besar, serta infrastruktur jaringan yang memadai sehingga biaya pengadaan dan operasional menjadi lebih tinggi dibandingkan alternatif lainnya. Selain itu, kebutuhan perawatan perangkat juga relatif lebih kompleks karena kamera harus dijaga agar tetap berfungsi dengan baik pada lingkungan peternakan.

Pada aspek lingkungan, sistem tetap memberikan kontribusi positif melalui pemantauan kondisi ternak secara tidak langsung sehingga mengurangi interaksi fisik yang berlebihan dengan sapi. Namun demikian, penggunaan perangkat elektronik dengan kebutuhan daya yang lebih tinggi menyebabkan efisiensi energi menjadi lebih rendah dibandingkan sistem berbasis sensor wearable.

Dari sisi sustainabilitas, sistem mampu menghasilkan data visual yang dapat digunakan sebagai bahan analisis perilaku ternak dalam jangka panjang. Akan tetapi, konsumsi energi yang relatif besar serta kebutuhan perangkat komputasi tambahan menyebabkan keberlanjutan operasional menjadi kurang efisien apabila diterapkan pada peternakan rakyat dengan sumber daya yang terbatas.

Pada aspek manufakturabilitas, implementasi sistem memerlukan proses instalasi kamera, penyediaan titik pemasangan, serta penyesuaian terhadap kondisi lokasi peternakan agar seluruh area pemantauan dapat tercakup. Hal tersebut menyebabkan proses pemasangan menjadi lebih kompleks dibandingkan sistem wearable yang cukup dipasang pada setiap ekor sapi.

Selanjutnya pada aspek sosial, sistem memberikan kemudahan bagi peternak karena proses pemantauan berlangsung secara otomatis tanpa memerlukan interaksi langsung dengan ternak. Akan tetapi, kemampuan sistem masih bergantung pada kualitas citra yang diperoleh kamera. Apabila sapi berada di luar jangkauan kamera atau terhalang oleh objek lain, proses identifikasi dapat mengalami penurunan akurasi sehingga informasi yang diterima peternak menjadi kurang optimal.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, Solusi 3 memiliki keunggulan dalam kemampuan analisis visual, pemanfaatan teknologi computer vision, serta proses pemantauan secara otomatis. Namun, kebutuhan komputasi yang tinggi, biaya implementasi yang relatif besar, serta keterbatasan jangkauan kamera menyebabkan solusi ini belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan sistem secara optimal. Oleh karena itu, Solusi 3 memperoleh nilai akhir 4,10, lebih tinggi dibandingkan Solusi 2 tetapi masih berada di bawah Solusi 1. Dengan demikian, sistem kalung pintar berbasis IoT pada Solusi 1 dipilih sebagai alternatif terbaik karena memberikan keseimbangan yang lebih baik antara kemampuan monitoring, efisiensi biaya, konsumsi energi, serta kemudahan implementasi pada peternakan sapi.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode House of Quality (HoQ), diperoleh bahwa Solusi 1, yaitu Wearable Device untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi dengan GPS dan Sensor, merupakan alternatif terbaik dengan nilai tertinggi sebesar 4,43. Nilai tersebut menunjukkan bahwa solusi ini memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi terhadap fitur dasar maupun konstrain desain yang telah ditetapkan dibandingkan dengan dua alternatif solusi lainnya.

Berdasarkan hasil analisis HoQ, Solusi 1 memiliki hubungan yang kuat terhadap fitur dasar Sensing Capability, Metode Komputasi, dan Tahan terhadap Kondisi Berbagai Lingkungan. Sistem dirancang menggunakan sensor suhu tubuh MLX90614, sensor detak jantung dan saturasi oksigen MAX30102, serta modul GPS NEO-6M yang mampu melakukan pemantauan kondisi fisik dan lokasi sapi secara real-time. Seluruh data yang diperoleh dikirimkan melalui komunikasi LoRa menuju gateway, kemudian diteruskan ke server dan ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga peternak dapat memantau kondisi ternak secara jarak jauh.

Selain memenuhi fitur dasar, solusi ini juga memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap konstrain desain yang meliputi aspek ekonomi, lingkungan, sustainabilitas, manufakturabilitas, dan sosial. Dari aspek ekonomi, penggunaan komponen yang mudah diperoleh dengan harga relatif terjangkau menjadikan biaya implementasi sistem tetap ekonomis. Dari aspek lingkungan dan sustainabilitas, sistem mendukung deteksi dini gangguan kesehatan ternak sehingga dapat mengurangi risiko penyebaran penyakit sekaligus meningkatkan produktivitas peternakan secara berkelanjutan. Sementara itu, dari aspek manufakturabilitas, penggunaan komponen standar serta desain perangkat yang modular mempermudah proses perakitan maupun pemeliharaan. Pada aspek sosial, aplikasi mobile yang dirancang dengan antarmuka sederhana memudahkan peternak dalam mengakses informasi kondisi ternak tanpa memerlukan kemampuan teknis yang tinggi.

Dengan mempertimbangkan hasil analisis terhadap seluruh fitur dasar dan konstrain desain tersebut, dapat disimpulkan bahwa Wearable Device untuk Pemantauan Lokasi dan Kondisi Fisik Sapi dengan GPS dan Sensor merupakan solusi yang paling optimal untuk diterapkan pada sistem pemantauan kesehatan dan lokasi sapi. Solusi ini mampu mengintegrasikan kemampuan monitoring real-time, efisiensi biaya, kemudahan implementasi, serta kemudahan penggunaan dalam satu sistem yang terpadu sehingga sesuai dengan kebutuhan peternakan sapi semi-liar maupun semi-intensif.

