

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pengenalan Masalah**

Sapi merupakan salah satu ternak utama penghasil daging dan susu yang memiliki peran penting dalam sektor pertanian dan peternakan di Indonesia. Di antara berbagai jenis ternak, sapi perah seperti Friesian Holstein (FH) dikenal memiliki produktivitas susu yang tinggi dan daya adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Produksi susu dari sapi FH bahkan dapat mencapai 15 hingga 18 liter per hari, menjadikannya aset berharga dalam mendukung ketahanan pangan dan perekonomian peternak. Susu yang dihasilkan tidak hanya dikonsumsi secara langsung, tetapi juga diolah menjadi berbagai produk olahan seperti keju, *yoghurt*, dan susu bubuk.

Namun, tingginya produktivitas susu dari sapi perah harus diimbangi dengan upaya menjaga kualitas susu yang dihasilkan. Kualitas susu sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, mulai dari kondisi lingkungan kandang seperti suhu dan kelembaban, hingga kondisi fisiologis dan perilaku sapi itu sendiri. Faktor-faktor seperti stres akibat lingkungan yang tidak nyaman, perilaku abnormal seperti penurunan aktivitas atau perubahan pola makan dapat menjadi indikasi awal adanya gangguan kesehatan. Hal penting lainnya dimana kondisi fisiologis seperti suhu tubuh dan keadaan ambing juga menjadi indikator langsung yang sangat berkaitan dengan kualitas dan keamanan susu.

Dalam praktik peternakan pemantauan terhadap faktor-faktor tersebut masih banyak dilakukan secara manual dan tidak terukur, seperti inspeksi visual atau observasi perilaku yang subjektif. Hal ini menyebabkan potensi gangguan kesehatan sering terlambat terdeteksi. Untuk mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan sistem *monitoring* cerdas berbasis teknologi *sensor* dan kecerdasan buatan yang mampu memantau kondisi lingkungan, perilaku, serta kondisi fisik sapi secara *real-time* dan akurat.

Sistem pemantauan semacam ini diharapkan mampu memberikan informasi yang relevan dan cepat kepada peternak, sehingga keputusan preventif dapat diambil untuk menjaga kesehatan sapi dan memastikan kualitas susu tetap optimal.

Pemanfaatan teknologi seperti sensor suhu, kelembaban, kamera, serta algoritma pembelajaran mesin menjadi solusi inovatif dalam mengembangkan sistem yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan di lingkungan peternakan.

### **1.1.1 Informasi pendukung masalah**

Kualitas susu sapi perah di Indonesia merupakan indikator penting dalam menilai keberhasilan manajemen peternakan dan kesehatan sapi. Susu sapi yang berkualitas tinggi tidak hanya memberikan manfaat ekonomi bagi peternak tetapi juga menjadi produk bernilai tinggi bagi masyarakat. Kualitas susu sapi perah dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung. Faktor-faktor seperti suhu dan kelembaban kandang, perilaku sapi, serta kondisi fisiologis seperti suhu tubuh dan warna ambing berperan penting dalam menentukan kualitas maupun kuantitas susu yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap faktor-faktor ini sangat penting dalam upaya meningkatkan produktivitas dan mutu hasil peternakan sapi perah.

Lingkungan kandang yang tidak optimal, terutama yang memiliki suhu dan kelembaban tinggi, dapat menyebabkan stres panas (heat stress) pada sapi perah. Studi dari Galicia menunjukkan bahwa ketika Temperature Humidity Index (THI) melebihi ambang kritis, terjadi penurunan produksi susu serta penurunan kandungan lemak dan protein susu setiap kenaikan satu unit THI dapat menurunkan produksi susu hingga 0,249 kg per hari dan memengaruhi komposisi susu lebih dari volumenya[1]. Selain itu, stres panas menyebabkan sapi mengurangi konsumsi pakan, karena penurunan nafsu makan merupakan respons untuk menurunkan metabolisme panas tubuh[2]. Lingkungan yang lembap dan kurang higienis juga memicu pertumbuhan patogen, seperti penyebab mastitis, sehingga kualitas susu terutama dalam hal jumlah sel somatik dan kontaminasi mikroba akan menurun drastis[3].

Perubahan perilaku sapi perah, seperti turunnya nafsu makan dan pergeseran pola berbaring atau berdiri, juga menjadi indikator kuat dari turunnya kualitas susu dan gangguan kesehatan. Penelitian melaporkan bahwa sapi yang mengalami mastitis ringan menunjukkan perubahan pola berbaring dan asupan pakan bahkan 3–5 hari sebelum diagnosis klinis, yang kemudian dikorelasikan dengan penurunan kualitas

susu[2]. Selain itu, studi tinjauan menunjukkan bahwa sapi yang tidak cukup berbaring atau terlalu sering berdiri cenderung mengalami stres dan gangguan pencernaan, yang pada akhirnya mengurangi efisiensi pencernaan nutrisi ini secara langsung berdampak pada produksi susu. Waktu berbaring yang ideal berkisar antara 12–14 jam per hari; deviasi signifikan dari nilai ini menunjukkan adanya ketidaknyamanan atau gangguan kesehatan pada sapi perah[4].

Lebih lanjut, kesehatan fisiologis sapi, khususnya suhu tubuh dan warna ambing, juga sangat memengaruhi kualitas susu yang dihasilkan. Suhu tubuh sapi perah yang sehat umumnya berada pada kisaran 38,27°C hingga 38,82°C sebagaimana dilaporkan oleh Asmayadi (2016). Namun, suhu pada bagian ambing yang lebih tinggi dari normal dapat menjadi indikasi awal terjadinya mastitis atau peradangan pada jaringan ambing. Selain suhu, warna ambing juga merupakan indikator penting. Ambing yang sehat berwarna merah muda hingga coklat muda, sedangkan warna kemerahan terang, kebiruan, atau keunguan dapat menunjukkan adanya infeksi atau sirkulasi darah yang tidak normal[2].

Peningkatan kualitas susu sapi perah dapat dilakukan dengan pendekatan manajemen pakan berkualitas tinggi, menjaga higiene dan sanitasi selama proses pemerasan, serta memantau kesehatan sapi secara berkala menggunakan teknologi sensor suhu dan deteksi warna ambing. Teknologi ini memberikan peluang untuk mendeteksi dini potensi masalah kesehatan dan memastikan kualitas susu tetap sesuai standar. Implementasi teknologi pemerasan modern yang higienis juga dapat membantu mengurangi risiko kontaminasi mikroba, sehingga susu yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan aman untuk dikonsumsi[3], [4].

### **1.1.2 Analisis masalah**

Masalah kualitas susu sapi perah di Indonesia tidak hanya memengaruhi produksi dan pendapatan peternak, tetapi juga berhubungan langsung dengan kesehatan masyarakat serta keberlanjutan sistem peternakan. Oleh karena itu, penting untuk memahami berbagai faktor yang memengaruhi kualitas susu secara menyeluruh. Analisis berikut membahas aspek-aspek tersebut dengan penekanan pada penggunaan pemantauan cerdas untuk menjaga kesehatan sapi dan meningkatkan kualitas susu:

1. Aspek Ekonomi: Total biaya solusi dibatasi maksimal Rp 1.500.000,00 untuk memastikan alat atau metode yang diusulkan dapat diadopsi oleh peternak kecil tanpa membebani keuangan mereka.
2. Aspek Kemudahan Penerapan: Solusi harus praktis dan mudah digunakan oleh peternak, tanpa memerlukan pelatihan khusus. Alat yang sederhana dan intuitif menjadi prioritas untuk memastikan penggunaannya secara konsisten.
3. Aspek Keberlanjutan: Solusi menggunakan bahan-bahan yang tahan lama, mudah ditemukan di pasar lokal, dan tidak bergantung pada komponen impor yang sulit diakses. Hal ini penting untuk memastikan keberlanjutan penggunaan alat di lapangan.
4. Aspek Etika: Jika solusi melibatkan pengumpulan data, privasi dan keamanan data peternak serta informasi kesehatan sapi harus dijaga dengan baik untuk menghindari penyalahgunaan.
5. Aspek Kesehatan: Solusi yang dikembangkan harus aman bagi sapi dan bebas dari bahan yang dapat mencemari susu atau membahayakan kesehatan konsumen. Penggunaan teknologi sensor yang tidak invasif sangat dianjurkan.
6. Aspek Lingkungan: Alat dirancang menggunakan sumber daya portabel dan ramah lingkungan, seperti baterai yang dapat diisi ulang, untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.
7. Aspek Waktu dan Sumber Daya: Proyek dikembangkan dalam waktu 6 bulan oleh satu orang dengan waktu kerja 40 jam per minggu. Desain dan perakitan harus efisien, mudah dirawat, dan dapat direproduksi.

### **1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi**

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap rancangan yang akan dibuat, alat pemantau kualitas susu dan kesehatan sapi perah yang dikembangkan diharapkan memenuhi kebutuhan berikut:

1. Pemantauan Lingkungan Kandang: Kondisi lingkungan kandang merupakan salah satu faktor eksternal yang sangat memengaruhi produktivitas dan kesehatan sapi perah. Oleh karena itu, sistem yang

dikembangkan harus mampu mengukur suhu dan kelembaban kandang secara akurat dan real-time. Deteksi terhadap suhu dan kelembaban ekstrem sangat penting, karena kondisi tersebut dapat menyebabkan stres panas pada sapi, yang berdampak langsung terhadap penurunan nafsu makan, gangguan metabolisme, dan berkurangnya kualitas serta kuantitas susu. Dengan adanya pemantauan otomatis, peternak dapat segera melakukan penyesuaian seperti mengaktifkan sistem ventilasi atau penyemprotan air, guna menjaga kestabilan iklim mikro di dalam kandang.

2. Pemantauan Perilaku Sapi sebagai Indikator Kesehatan: Perubahan pada perilaku sapi perah, seperti peningkatan waktu berdiri, penurunan waktu berbaring, atau berkurangnya nafsu makan, merupakan sinyal awal adanya gangguan kesehatan atau ketidaknyamanan lingkungan. Oleh karena itu, sistem harus dilengkapi dengan kemampuan untuk mengenali dan memantau pola aktivitas sapi. Teknologi seperti sensor gerak atau kamera dapat dimanfaatkan untuk merekam aktivitas sapi seperti makan, minum, berdiri, atau berbaring, yang kemudian dianalisis untuk mendeteksi perilaku menyimpang. Pemantauan ini sangat penting untuk membantu peternak mengenali gangguan kesehatan lebih dini sebelum muncul gejala klinis yang lebih serius, serta menjaga performa dan produksi susu tetap optimal.
3. Pemantauan Fisiologis Sapi Perah Secara Akurat: Kesehatan fisiologis sapi perah merupakan indikator penting dalam menjamin mutu dan keamanan produk susu yang dihasilkan. Sistem yang dikembangkan harus mampu mendeteksi parameter fisiologis seperti suhu tubuh sapi secara tepat, khususnya di bagian-bagian yang sensitif terhadap perubahan metabolismik. Selain suhu, warna tubuh seperti kulit atau bagian tubuh lain yang relevan dapat diamati untuk mendeteksi perubahan yang berpotensi menandakan masalah kesehatan. Data fisiologis ini akan memberikan gambaran objektif mengenai kondisi sapi, sehingga peternak dapat mengambil tindakan yang cepat dan tepat untuk mencegah penurunan kualitas susu akibat infeksi atau penyakit.
4. Efisiensi Konsumsi Daya: Sistem pemantauan harus dirancang dengan konsumsi daya yang efisien, agar dapat digunakan di lingkungan peternakan

yang memiliki keterbatasan akses listrik. Alat sebaiknya menggunakan sumber energi yang hemat seperti baterai isi ulang atau tenaga surya. Target konsumsi daya ideal tidak melebihi  $25\text{watt}$  agar dapat beroperasi secara mandiri dalam jangka waktu lama. Efisiensi ini juga memungkinkan alat tetap aktif meskipun dipindahkan ke lokasi lain dalam peternakan, tanpa memerlukan infrastruktur tambahan.

5. Antarmuka yang Sederhana dan Informatif: Penggunaan sistem oleh peternak harus didukung dengan antarmuka yang intuitif dan mudah dipahami, tanpa memerlukan pelatihan teknis yang rumit. Sistem harus dilengkapi dengan tampilan informasi dalam bentuk visual seperti layar OLED atau indikator LED, serta audio seperti bunyi alarm untuk kondisi tidak normal. Informasi yang ditampilkan mencakup status suhu kandang, kondisi aktivitas sapi, dan parameter kesehatan lainnya. Hal ini akan sangat membantu peternak dalam mengambil keputusan dengan cepat dan tepat berdasarkan data yang akurat.
6. Desain Portabel dan Mudah Dipasang: Sistem harus dirancang agar mudah dipindahkan dan dipasang di berbagai lokasi, termasuk pada kandang sapi yang berbeda atau bahkan digunakan langsung di lapangan. Portabilitas alat menjadi penting mengingat lingkungan peternakan sangat dinamis, dan alat harus fleksibel untuk mengikuti mobilitas sapi atau kebutuhan pengamatan yang berbeda. Desainnya juga harus mempertimbangkan kenyamanan sapi agar tidak mengganggu aktivitas alami hewan saat alat digunakan.

#### **1.1.4 Tujuan**

Berdasarkan analisis kebutuhan yang telah dijabarkan pada sub bab sebelumnya, pengembangan alat pemantau kualitas susu dan kesehatan sapi perah ini bertujuan untuk mendukung manajemen peternakan modern yang adaptif dan efisien. Adapun tujuan dari pengembangan alat ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan Efisiensi Energi dan Kemudahan Operasional di Lapangan: Merancang sistem dengan konsumsi daya yang rendah agar dapat beroperasi di lingkungan peternakan dengan keterbatasan listrik, serta mendukung

penggunaan baterai isi ulang atau sumber energi alternatif. Selain itu, sistem juga harus bersifat portabel dan mudah dipasang pada berbagai lokasi tanpa mengganggu aktivitas sapi.

2. Menyediakan Antarmuka Pengguna yang Sederhana dan Responsif: Menghadirkan tampilan dan sistem notifikasi yang mudah dipahami oleh peternak, seperti indikator visual dan suara untuk menunjukkan kondisi kesehatan sapi. Tujuan ini untuk memastikan bahwa data hasil pemantauan dapat langsung dimanfaatkan oleh pengguna lapangan tanpa memerlukan keahlian teknis khusus.
3. Mendukung Keberlanjutan dan Produktivitas Peternakan Sapi Perah: Secara keseluruhan, sistem ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas susu yang dihasilkan, dengan pendekatan pemantauan kesehatan sapi secara menyeluruh dan adaptif. Sistem ini diharapkan menjadi bagian dari solusi jangka panjang dalam membangun peternakan sapi perah yang berkelanjutan dan produktif di tengah tantangan iklim dan keterbatasan tenaga kerja.

## 1.2 Solusi

Untuk menjaga kualitas susu sapi perah, dibutuhkan solusi yang inovatif dan mudah diterapkan, terutama dalam memantau kondisi lingkungan kandang, perilaku, serta indikator fisiologis sapi secara menyeluruh dan terintegrasi. Solusi yang diusulkan ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pemantauan kesehatan sapi secara aktif dan adaptif, sehingga kualitas susu dapat dipertahankan secara konsisten.

Seluruh data yang dikumpulkan akan dikirimkan secara real-time melalui jaringan *Wi-Fi* atau *Bluetooth* ke aplikasi pemantauan khusus untuk peternak. Aplikasi tersebut menyajikan informasi kondisi sapi dalam bentuk visual maupun *audio* yang mudah dipahami, sehingga membantu peternak dalam mengambil keputusan cepat dan tepat di lapangan.

### 1.2.1 Karakteristik produk

Rancangan alat yang dikembangkan memiliki beberapa karakteristik utama yang mendukung pemantauan kualitas susu dan kesehatan sapi perah secara menyeluruh.

Seluruh karakteristik ini disusun agar peternak dapat memperoleh data penting secara otomatis tanpa mengganggu aktivitas sapi, serta tetap dapat digunakan secara fleksibel di lingkungan peternakan yang dinamis. Adapun karakteristik produk yang diharapkan adalah sebagai berikut:

#### A. Fitur Utama

Fitur utama dari produk ini adalah kemampuannya melakukan pemantauan cerdas terhadap kualitas susu dan kesehatan sapi perah secara otomatis dan real-time. Sistem dilengkapi sensor untuk memantau indikator kesehatan dan kualitas susu secara berkala, yang kemudian diproses menggunakan algoritma berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi potensi gangguan sejak dini. Dengan informasi ini, peternak dapat melakukan tindakan pencegahan atau penanganan lebih cepat guna menjaga kualitas susu dan kesehatan sapi.

#### B. Fitur Dasar

1. Pengolahan dan Pengiriman Data Real-time: Data dari seluruh sensor diproses secara otomatis dan dikirimkan secara real-time melalui Wi-Fi atau Bluetooth ke aplikasi pemantauan, sehingga peternak dapat mengakses informasi kapan saja.
2. Notifikasi dan Visualisasi Informasi: Sistem memberikan notifikasi langsung dalam bentuk pesan teks, *alarm*, atau indikator *visual* ketika terdeteksi kondisi tidak *normal*, sehingga peternak dapat segera mengambil tindakan pencegahan.
3. Antarmuka Aplikasi yang Informatif: Aplikasi menyediakan dashboard intuitif yang menampilkan grafik suhu, riwayat perilaku sapi, serta indikator warna untuk menunjukkan status kesehatan secara keseluruhan.
4. Pemantauan Banyak Sapi Secara Bersamaan: Sistem dirancang untuk memantau lebih dari satu sapi pada waktu yang sama, sehingga sesuai untuk peternakan berskala kecil hingga menengah.

#### C. Fitur Tambahan

1. Penggunaan Daya Rendah: Sistem dirancang hemat energi sehingga dapat beroperasi lebih lama menggunakan baterai isi ulang atau sumber daya alternatif seperti panel surya.

2. Desain Portabel dan Tahan Lingkungan: Alat bersifat kompak, ringan, serta tahan terhadap debu dan kelembaban tinggi. Selain itu, alat mudah dipasang dan dipindahkan tanpa mengganggu kenyamanan sapi.
3. Penyimpanan dan Sinkronisasi Data Cloud: Data pemantauan dapat disimpan secara lokal maupun di cloud, sehingga peternak dapat mengakses riwayat data jangka panjang dan menganalisis tren kesehatan sapi.

#### D. Sifat Solusi yang Diharapkan

1. Mudah Digunakan: Produk dirancang agar mudah dioperasikan tanpa memerlukan pelatihan teknis yang kompleks, sehingga seluruh fitur dapat dimanfaatkan secara optimal.
2. Harga Terjangkau: Produk mempertahankan keseimbangan antara fitur yang memadai dan biaya yang terjangkau agar dapat digunakan oleh peternak kecil maupun menengah.
3. Beroperasi Mandiri di Lokasi yang Terbatas Energi: Sistem dapat bekerja secara mandiri menggunakan baterai isi ulang, sehingga tetap berfungsi di daerah peternakan yang tidak memiliki sumber listrik stabil.

### 1.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan pembahasan mengenai upaya menjaga kualitas susu sapi perah, beberapa solusi dapat diterapkan untuk memastikan kesehatan sapi tetap optimal dan kualitas susu yang dihasilkan tetap terjaga. Solusi-solusi ini dirancang untuk meningkatkan efektivitas pemantauan tanpa mengganggu kesejahteraan sapi maupun menurunkan produktivitasnya. Adapun usulan solusi yang dapat dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Alat Pemantauan Kelembaban dan Suhu Kandang Sapi perah
2. Alat Pemantauan Suhu Tubuh dan Perilaku Sapi perah
3. Alat Pemantauan Suhu dan Warna Ambing Sapi Perah

#### 1.2.2.1 Alat Pemantauan Kelembaban dan Suhu Kandang Sapi Perah

Alat ini dirancang untuk mengukur kondisi lingkungan kandang secara *real-time* menggunakan sensor suhu dan kelembaban yang ditempatkan di beberapa titik strategis dalam kandang. Data lingkungan yang dikumpulkan akan dianalisis menggunakan metode Long Short-Term Memory (LSTM) untuk memprediksi tren

perubahan suhu dan kelembaban secara lebih dinamis dan akurat. Dengan pendekatan berbasis deret waktu ini, sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap kondisi ekstrem yang dapat memicu stres panas pada sapi perah.

Selain pemantauan, alat ini dapat terhubung dengan perangkat otomatisasi seperti kipas, sprinkler, atau pengatur ventilasi yang akan aktif secara otomatis ketika suhu atau kelembaban melampaui ambang batas *optimal*. Pendekatan ini membantu mencegah stres panas, meningkatkan kenyamanan sapi, serta mendukung produktivitas susu yang lebih stabil dan berkualitas, karena sapi yang berada pada lingkungan nyaman cenderung menghasilkan susu dalam jumlah lebih tinggi dan lebih baik.

#### **1.2.2.2 Alat Pemantauan Suhu Tubuh dan Perilaku Sapi Perah**

Alat ini berfungsi memantau suhu tubuh dan perilaku harian sapi perah secara otomatis dan non-invasif. Sensor suhu inframerah non-kontak ditempatkan pada area yang representatif, seperti dahi atau leher, untuk mendeteksi peningkatan suhu tubuh sebagai indikator awal masalah kesehatan.

Untuk memantau perilaku, sensor gerak dan kamera digunakan untuk mengamati aktivitas seperti makan, berdiri, berbaring, tidur, atau berjalan. Data perilaku ini kemudian diproses menggunakan kombinasi algoritma LSTM untuk analisis berbasis waktu dan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan perilaku sapi berdasarkan pola tertentu.

Contohnya, sapi yang menunjukkan penurunan aktivitas makan atau terlalu sering berbaring disertai kenaikan suhu tubuh akan otomatis diklasifikasikan sebagai individu yang berisiko mengalami gangguan kesehatan. Sistem kemudian mengirimkan notifikasi yang mudah dipahami kepada peternak, sehingga tindakan pemeriksaan atau intervensi dapat dilakukan dengan cepat dan efisien.

#### **1.2.2.3 Alat Pemantauan Suhu dan Warna Ambing Sapi Perah**

Alat ini bertujuan mendeteksi kondisi ambing yang tidak *normal*, khususnya mastitis, yang menjadi salah satu penyebab utama penurunan kuantitas dan kualitas susu. Sistem dilengkapi sensor suhu inframerah untuk mengukur suhu permukaan ambing, serta kamera digital untuk mengambil citra ambing secara berkala.

Analisis suhu dan citra ambing dilakukan menggunakan *algoritma Convolutional Neural Network* (CNN) yang dilatih untuk mengenali pola kombinasi kenaikan suhu dan perubahan warna kulit ambing, seperti kemerah atau penggelapan warna yang menjadi indikator umum infeksi. Sistem menerapkan pendekatan berbasis ambang (*threshold-based*) ketika suhu ambing melebihi nilai normal dan terjadi perubahan warna signifikan, sistem akan mengirimkan peringatan dini melalui aplikasi terhubung.

Dengan adanya peringatan ini, peternak dapat segera menangani sapi yang terindikasi mengalami mastitis sebelum kondisi memburuk. Hal ini membantu menjaga kualitas susu serta mencegah penyebaran penyakit ke sapi lainnya di dalam kandang.

### 1.2.3 Analisis usulan Solusi

Dari tiga solusi yang telah diajukan, dilakukan analisis kebutuhan untuk menentukan alternatif yang paling sesuai menggunakan metode *House of Quality* (HoQ). Metode ini digunakan untuk mengevaluasi keterkaitan antara kebutuhan pengguna dengan spesifikasi teknis alat yang akan dirancang, sehingga solusi yang dipilih benar-benar memenuhi kebutuhan lapangan.

Dalam proses penilaian HoQ, setiap hubungan antara kebutuhan pengguna dan spesifikasi teknis diberi tingkat keterhubungan yang berbeda. Keterhubungan kuat diberi nilai 5, keterhubungan sedang diberi nilai 3, dan keterhubungan rendah diberi nilai 1. Jika tidak terdapat hubungan, sel pada matriks dibiarkan kosong. Pendekatan ini memberikan dasar yang lebih objektif dalam menentukan solusi yang paling optimal untuk dikembangkan.

	Importance Rating	Pemantauan Suhu	Pemantauan Warna	aplikasi pemantauan	mudah digunakan	hemat daya	
penggunaan daya rendah	3					●	
notifikasi real-time	4	○	○	●			
harga terjangkau	2	△	△			○	
design minimalis	1	○	●		●	○	<b>TOTAL</b>
Importance Rating	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>29</b>	<b>90</b>	
Percentage of Importance Rating	18%	22%	17%	11%	32%	100%	

Gambar 1. 1 House of Quality (HOQ)

Bobot hubungan:

- △ = 1 (berhubungan rendah)
- = 3 (berhubungan sedang)
- = 5 (berhubungan erat)

Berdasarkan hasil penilaian menggunakan metode HoQ tersebut, diperoleh bahwa solusi 3 memiliki total nilai tertinggi, yaitu 5.00. Solusi ini menawarkan desain yang lebih minimalis dengan kemampuan memantau suhu ambing dan perilaku sapi, disertai konsumsi daya yang rendah serta pengiriman data secara *real-time*. Dengan nilai keterhubungan teknis terbesar dibandingkan dua alternatif lainnya, Solusi 3 dipilih sebagai solusi terbaik karena menunjukkan kesesuaian paling kuat antara spesifikasi teknis dan kebutuhan pengguna di lapangan.

Solusi 1	●	●	○	○	△	3.16
Solusi 2	●	○	●	●	●	4.56
Solusi 3	●	●	●	●	●	5.00

Gambar 1. 2 Analisis dari solusi

Selaras dengan hasil penilaian HoQ yang menunjukkan bahwa Solusi 3 memperoleh nilai total tertinggi, analisis lebih lanjut juga menegaskan bahwa Alat Pemantauan Suhu dan Warna Ambing Sapi Perah merupakan alternatif dengan performa terbaik dalam memenuhi kebutuhan deteksi kualitas susu. Solusi ini unggul dari sisi efisiensi daya, desain yang kompak, serta kemudahan pemantauan kondisi ambing secara *real-time* melalui aplikasi berbasis *smartphone* atau web. Dengan fitur pemantauan suhu dan warna ambing yang lebih presisi, alat ini memungkinkan peternak mendeteksi gangguan pada ambing sejak tahap awal, sehingga kualitas susu dapat tetap terjaga. Berdasarkan keunggulan tersebut, Solusi 3 menjadi pilihan paling *optimal* untuk diterapkan dalam menjaga kesehatan sapi perah serta memastikan kualitas susu yang dihasilkan tetap tinggi dan konsisten.

#### 1.2.4 Solusi yang dipilih

Dari hasil analisis menggunakan HoQ, solusi 3 tetap menjadi alternatif terbaik karena memperoleh total nilai tertinggi sebesar 5.00. Nilai ini menunjukkan bahwa solusi ini paling memenuhi kebutuhan pengguna dan paling sejalan dengan karakteristik operasional di lapangan. Salah satu keunggulan utama dari solusi ini adalah desain alat yang minimalis, ringkas, dan mudah dibawa, sehingga peternak dapat melakukan pemeriksaan ambing tanpa mengganggu aktivitas sapi dan tanpa membutuhkan perangkat tambahan yang rumit.

Alat ini dirancang sebagai satu perangkat fisik terpadu yang menggabungkan sensor suhu dan kamera. Kamera berfungsi menangkap citra bagian ambing untuk mendeteksi perubahan warna, sementara sensor suhu mengukur peningkatan suhu lokal yang sering menjadi indikator awal gangguan kesehatan seperti mastitis. Data suhu dan citra kemudian diproses secara otomatis oleh model CNN yang tertanam di dalam perangkat, sehingga proses analisis berlangsung di dalam alat itu sendiri tanpa ketergantungan pada perangkat eksternal. Sebagai hasilnya, perangkat dapat menampilkan informasi deteksi secara langsung melalui LCD kecil yang berfungsi sebagai *interface* utama bagi peternak. Selain *interface* lokal tersebut, alat ini juga menyediakan opsi tampilan pendukung melalui *smartphone* atau *website*, sehingga peternak dapat melihat citra ambing dengan lebih jelas bila diperlukan. Fitur ini

tidak wajib digunakan saat operasi harian, tetapi menjadi nilai tambah untuk verifikasi visual atau dokumentasi kondisi ambing.

Dari sisi operasional, alat ini menggunakan sumber daya portabel sehingga tetap dapat berfungsi di lingkungan lapangan tanpa memerlukan sambungan listrik langsung. Konsumsi daya yang rendah membuat alat dapat digunakan untuk periode tertentu tanpa perlu pengisian daya terlalu sering, memberikan fleksibilitas bagi peternak saat melakukan pengecekan rutin. Secara keseluruhan, kombinasi sensor suhu, kamera, analisis otomatis berbasis CNN, interface lokal melalui LCD, serta opsi tampilan tambahan melalui smartphone/website menjadikan solusi ini praktis, mandiri, dan sangat relevan dengan kebutuhan deteksi dini mastitis. Solusi 3 menyediakan keseimbangan terbaik antara kemudahan penggunaan, keakuratan, portabilitas, dan kemandirian sistem, sehingga layak dipilih sebagai rancangan utama alat.

