

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Serangan hama merupakan salah satu ancaman serius terhadap ketahanan pangan global. Menurut data dari *Food and Agriculture Organization*, serangan hama dapat menurunkan hasil produksi tanaman global hingga 40% setiap tahun [1]. Kondisi ini juga dirasakan di Indonesia, mengingat tingginya ketergantungan nasional terhadap komoditas pangan strategis pada lahan pertanian. Berdasarkan Survei Pertanian yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2024, menunjukkan 55,03% petani di Indonesia melaporkan gangguan hama sebagai kendala utama dalam usaha tani [2]. Dampaknya dapat mempengaruhi stabilitas produksi pangan nasional.

Pada komoditas pangan strategis ancaman hama datang dalam berbagai bentuk dengan karakteristik yang berbeda-beda. ancaman hama dapat berasal dari organisme vertebrata maupun invertebrata dengan skala serangan yang beragam. Babi hutan (*Sus scrofa*) merupakan hama vertebrata berukuran besar yang banyak menyerang lahan pertanian di wilayah transisi sawah–hutan, menyebabkan kerusakan tanaman dan struktur lahan secara berulang setiap musim tanam [3].

Namun demikian, Sistem pengendalian hama pada lahan pertanian masih mengandalkan respon manual dari petani. Metode konvensional seperti orang-orangan sawah, tali plastik atau kaleng, serta patroli rutin di lahan pertanian menuntut kehadiran petani secara fisik untuk turun ke lahan pertanian dan menjaga tanaman secara terus menerus sepanjang hari [4]. Pendekatan ini menjadi kurang efektif karena terdapat keterbatasan metode pengendalian manual petani terhadap karakteristik hama. Babi hutan bersifat nokturnal dengan aktivitas puncak pada malam hari (22.00-03.00), sehingga pengawasan manual sangat beresiko dan menambah beban kerja bagi petani [5]

Berdasarkan hal tersebut, pengendalian hama di lahan pertanian bukan semata-mata pada jenis hama, melainkan pada keterbatasan sistem pengendalian yang masih bersifat manual, reaktif, dan sangat bergantung pada kehadiran manusia. Beberapa faktor eksternal, seperti jarak lahan pertanian dari pemukiman serta keterbatasan jumlah tenaga kerja memperburuk kemampuan petani untuk merespons hama dengan cepat sehingga sistem pengendalian menjadi tidak optimal dan melelahkan [6]. Permasalahan ini tidak hanya berdampak pada petani, tetapi terdapat beberapa pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung diantaranya :

1. Petani

Petani menjadi pihak paling terdampak karena keterbatasan respon manual terhadap serangan hama membuat pengendalian tidak efektif dan menurunkan hasil panen. Masalah ini juga menambah beban waktu dan tenaga karena petani harus berjaga di sawah secara terus-menerus.

2. Pemerintah

Jika permasalahan ini tidak diatasi, pemerintah akan menghadapi menurunnya ketahanan pangan akibat kerugian produksi nasional dan bertanggung jawab terhadap perumusan kebijakan pertanian.

3. Masyarakat

Masyarakat terdampak secara tidak langsung melalui ketersediaan pangan yang aman, terjangkau, dan bebas dari residu pestisida berbahaya.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

1.1.1.3 Hama Babi Hutan

Babi hutan di Indonesia umumnya diklasifikasikan dalam genus *Sus* (mis. *Sus scrofa* dan spesies lokal seperti *Sus celebensis*), dengan variasi morfologi antar-populasi akibat adaptasi lokal dan sejarah domestikasi. Sebaran babi hutan meliputi pulau-pulau besar dan kawasan perbukitan hingga dataran rendah, sering ditemukan di tepi hutan, kebun campuran, dan kawasan peralihan antara hutan dan lahan pertanian. [7]



Gambar 1.1 Babi hutan (*Sus scrofa*).

Babi hutan adalah omnivora yang fleksibel dalam pilihan makanannya mencakup umbi-umbian, akar, buah, invertebrata, serta sisa tanaman pertanian. Mereka menggunakan kemampuan penciuman tajam dan perilaku “rooting” (menggali tanah) yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada tanaman, sistem perakaran, dan lahan pertanian, terutama di tepian kebun atau lahan milik petani. [8]

Babi hutan tergolong sulit ditangani secara manual karena memiliki keterbatasan pada metode pengendalian konvensional yang dilakukan manusia, seperti pengusiran langsung, jebakan sederhana, atau perburuan tradisional. Hal ini disebabkan oleh sifat babi hutan yang cerdas, adaptif, aktif pada malam hari (nokturnal), serta memiliki wilayah jelajah luas, sehingga cepat belajar menghindari perangkap atau manusia. Selain itu, kemampuan fisik babi hutan yang kuat dan agresif dapat membahayakan keselamatan manusia apabila penanganan dilakukan secara langsung tanpa alat dan prosedur yang memadai. Keterbatasan tenaga manusia, waktu pengawasan yang tidak kontinu, serta luasnya area pertanian atau hutan juga membuat pengendalian manual menjadi tidak efektif dan tidak berkelanjutan, terutama di daerah pedesaan yang minim sumber daya dan teknologi pendukung.

1.1.1.4 Solusi Yang Telah Ada

Berdasarkan hal tersebut, Permasalahan hama pada lahan pertanian sebenarnya sudah menjadi masalah yang banyak terjadi, hingga sudah ada beberapa solusi yang dilakukan oleh masyarakat dan bisa dilihat analisis beberapa solusi tersebut di tabel 1.1 berikut :

Tabel 1.1 Solusi yang Telah Ada

No	Solusi	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
1.	Perburuan Bersama oleh Komunitas atau Pemuda Daerah dengan Bantuan Anjing	Dapat mengurangi populasi babi hutan secara langsung.	Jarang dilakukan secara rutin dan memerlukan perizinan resmi sebelum dilaksanakan.	[9]
2.	Pemasangan Pagar Kawat atau Kawat Berduri	Relatif sederhana dan dapat secara langsung memblokir akses babi hutan ke lahan.	Membutuhkan biaya pemasangan dan pemeliharaan yang cukup tinggi.	[9]
3.	Penggunaan jebakan untuk menangkap babi hutan.	Dapat membuat babi hutan takut dan jera	Bisa melukai hewan lainnya yang tidak berbahaya.	[9]

1.1.1.5 Analisis Respon Manual Terhadap Pengendalian Tidak Efektif

Untuk memahami mengapa pengendalian manual sering gagal, perlu diletakkan dasar pemahaman mengenai batasan biologis manusia (*human biological constraints*) ketika berinteraksi dengan variabel lingkungan

pertanian yang kompleks.

Kemampuan Pemantauan Hama pada Manusia

Dalam konteks pemantauan hama, efektivitas petani bergantung sepenuhnya pada *input* visual. Mata manusia memiliki keterbatasan resolusi spasial (*spatial resolution*), terutama untuk objek yang bergerak cepat atau berukuran sangat kecil dengan latar belakang yang kompleks (kamufase).

Studi menunjukkan bahwa kemampuan mata manusia untuk mendeteksi objek menurun drastis seiring dengan mengecilnya ukuran objek dan berkurangnya kontras warna. Kegagalan deteksi bukan akibat kelalaian kognitif, melainkan ketidakmampuan optik mata manusia untuk memisahkan objek hama [10].

Penurunan Kewaspadaan dan Kelelahan

Teori ergonomi menyatakan bahwa kemampuan manusia untuk mempertahankan perhatian (*sustained attention*) pada tugas monitoring yang monoton akan menurun secara signifikan setelah 30 menit. Dalam kasus pengendalian hama babi hutan yang membutuhkan penjagaan berjam-jam atau bahkan sepanjang malam, petani mengalami *vigilance decrement* [11].

Kelelahan fisik (*physical fatigue*) juga memainkan peran krusial. Aktivitas pengusiran manual seperti menarik tali, berteriak, atau mengejar hama adalah aktivitas metabolik tinggi. Ketika cadangan energi petani menipis, waktu reaksi (*reaction time*) melambat, dan frekuensi monitoring menurun, menciptakan "jendela kerentanan" (*windows of vulnerability*) yang dimanfaatkan oleh hama untuk menyerang [12].

Kesenjangan Kognitif dan "Base Rate Neglect"

Selain batasan fisik, terdapat batasan kognitif. Petani sering kali mengalami bias kognitif dalam mengestimasi populasi hama. Tanpa data kuantitatif yang akurat, manusia cenderung meremehkan pertumbuhan populasi yang bersifat eksponensial (seperti pada serangga r-strategist) dan bereaksi secara linear. Hal ini menyebabkan respon pengendalian selalu terlambat (*lagging response*)

dibandingkan laju reproduksi hama [13].

Tabel 1.2 Matriks Perbandingan Kapasitas Deteksi Manusia vs. Karakteristik Hama

Variabel Biologis	Kapasitas Manusia (Petani)	Karakteristik Hama Target	Status Konflik
Siklus Aktivitas	Diurnal (Siang hari); Istirahat malam hari.	Babi Hutan: Nokturnal (Aktif malam).	Mismatch Waktu (Temporal Gap)
Kecepatan Respon	Detik hingga Menit (Reaksi motorik).	Lari: Milidetik hingga Detik.	Lambat (Reaction Lag)

Sumber: Analisis sintesis berdasarkan data

1.1.2. Analisis Masalah dan *Constraint*

Berikut pembahasan masalah yang diajukan dalam beberapa aspek :

1. Aspek Ekonomi

Keterbatasan respon manual petani terhadap serangan hama membuat pengendalian menjadi tidak optimal, sehingga kerugian hasil panen meningkat dan dapat menimbulkan tekanan finansial bagi petani, terutama yang menggantungkan hidup pada hasil pertanian padi. Permasalahan ekonomi yang dihadapi petani bersifat ganda, yakni kerugian hasil panen yang signifikan akibat serangan hama dan keterbatasan modal untuk investasi teknologi. Hama hutan secara langsung memangkas margin keuntungan petani yang sudah rendah. Oleh karena itu, sistem pengendalian hama yang dikembangkan harus memiliki biaya implementasi yang rendah, agar secara ekonomi layak

diterapkan dan dapat diadopsi oleh petani tanpa menambah beban finansial.

2. Aspek Waktu & Tenaga Kerja

Metode pengusiran hama manual memerlukan kehadiran petani di lahan pertanian. Aktivitas ini menyita banyak waktu dan tenaga, terutama pada jam-jam serangan hama pertanian yang terjadi pada pagi dan sore hari, hama babi hutan yang bersifat nokturnal (aktif di malam hari) dimana pengawasan secara manual sangat melelahkan dan tidak efektif akibat penurunan kewaspadaan (*vigilance decrement*). Sehingga ketergantungan pada respon manual mengurangi efisiensi kerja dan mengganggu kegiatan pertanian lainnya. Oleh karena itu dibutuhkan pengendalian yang bersifat otonom, tanpa perlu intervensi yang signifikan dari petani.

3. Aspek Lingkungan

Kemunculan hama babi yang tidak dikendalikan secara optimal dapat merusak lahan pertanian karena aktivitasnya untuk mencari makan serta penggunaan pestisida kimia pada hama berpotensi mencemari tanah, air, dan udara, yang dapat membunuh hewan-hewan lain yang bermanfaat dan merusak kesehatan lingkungan secara keseluruhan. Selain berdampak ekologis, praktik pengendalian yang tidak ramah lingkungan juga berpotensi melanggar ketentuan keselamatan dan perlindungan lingkungan hidup yang berlaku pada sektor pertanian. Oleh karena itu, diperlukan penerapan konstrain Standar dan Regulasi Lingkungan melalui pendekatan non-invasif yang memastikan alat tidak melukai hewan maupun merusak vegetasi.

4. Aspek Teknis & Fungsional

Sistem dioperasikan pada lahan pertanian terbuka sehingga memerlukan ketahanan terhadap panas matahari dan curah hujan. Oleh karena itu, sistem dirancang dengan material yang

kokoh, sehingga memunculkan konstrain Tahan Cuaca pada materialnya. Selain itu, proses pengembangan sistem dibatasi oleh waktu yang relatif singkat, agar solusi dapat segera diterapkan dan diuji di lapangan secara nyata. Batasan waktu yang ditetapkan maksimal enam bulan untuk memastikan seluruh tahapan perancangan, pengujian, dan integrasi dapat diselesaikan secara efektif sehingga menentukan konstrain Batas Waktu Pengembangan maksimal enam bulan untuk seluruh tahapan perancangan hingga integrasi.

5. Aspek Hukum

Penggunaan teknologi dalam kegiatan pertanian, khususnya alat pengendalian hama, tidak terlepas dari ketentuan hukum dan regulasi yang mengatur keselamatan manusia, perlindungan lingkungan hidup, serta kesejahteraan hewan. Pengendalian hama yang dilakukan secara tidak terkendali, misalnya dengan penggunaan bahan kimia berbahaya atau metode yang bersifat destruktif, berpotensi melanggar prinsip perlindungan lingkungan dan keselamatan kerja di sektor pertanian. Selain itu, penerapan sistem elektronik di lahan pertanian terbuka juga harus mempertimbangkan aspek keselamatan pengguna, seperti risiko sengatan listrik, kebisingan berlebih, maupun dampak alat terhadap masyarakat sekitar. Oleh karena itu, sistem pengendalian hama yang dikembangkan tidak hanya dituntut efektif secara teknis, tetapi juga harus aman secara hukum dan etis untuk digunakan dalam jangka panjang. Berdasarkan aspek hukum tersebut, solusi yang dirancang harus memperhatikan kepatuhan terhadap standar teknis dan regulasi yang relevan, baik terkait keselamatan penggunaan alat, perlindungan lingkungan, maupun penerapan prinsip pengendalian hama yang berkelanjutan. Hal ini menjadi dasar munculnya kebutuhan akan konstrain standar dan regulasi dalam perancangan sistem.

Berdasarkan tinjauan permasalahan dari beberapa aspek yang didefinisikan, Adapun beberapa konstrain yang dapat muncul berdasarkan permasalahan ini, konstrain ini mencakup berbagai tantangan yang bisa mempengaruhi keberhasilan penerapan solusi, baik dari sisi teknologi, biaya, maupun aspek operasional lainnya. Adapun beberapa konstrain yang muncul berdasarkan permasalahan dan kebutuhan sistem yang telah diuraikan sebelumnya. Konstrain ini mencakup berbagai tantangan yang berpotensi mempengaruhi keberhasilan perancangan dan implementasi solusi, diantaranya adalah :

1. *Low Cost*

Sebagai kaitan dari aspek ekonomi, sistem dirancang dengan batasan biaya maksimal Rp. 5.000.000 untuk masing-masing sub-sistem, sehingga tetap terjangkau bagi petani namun tetap memiliki kemampuan deteksi yang handal. Batasan ini membatasi pemilihan komponen perangkat keras pada kategori *Consumer Grade* yang berkinerja tinggi namun ekonomis (seperti Raspberry Pi dan modul kamera standar), serta menuntut efisiensi algoritma agar dapat berjalan pada perangkat keras tersebut tanpa memerlukan server mahal.

2. Tahan Cuaca

Sebagai jawaban atas tantangan pada aspek teknis, sistem wajib menggunakan material yang memiliki durabilitas tinggi dan desain *enclosure* khusus agar tahan terhadap berbagai kondisi cuaca ekstrem. Hal ini mencakup perlindungan komponen elektronik dari paparan panas matahari yang terik secara terus-menerus serta curah hujan tinggi di lahan pertanian terbuka, guna menjamin keberlangsungan operasional perangkat dalam jangka panjang.

3. *Autonomous Operation*

Untuk mengatasi permasalahan pada aspek waktu dan tenaga kerja, sistem dibatasi oleh kebutuhan untuk mampu melakukan

proses pengusiran hama secara otomatis berdasarkan hasil deteksi tanpa memerlukan intervensi manual, sehingga mampu mengatasi masalah keterbatasan tenaga kerja dan ketidakmungkinan pengawasan manual 24 jam.

4. Regulasi Lingkungan

Merujuk pada aspek lingkungan dan aspek hukum, sistem ini dirancang mengikuti regulasi keamanan hayati dan perlindungan alam melalui pendekatan *non-invasif*. Hal ini memastikan bahwa alat tidak melukai hewan, tidak merusak vegetasi, tidak mengganggu aktivitas manusia dan menjamin keselamatan petani dalam monitoring pada lahan pertanian, serta yang terpenting tidak mengganggu keseimbangan ekosistem sehingga tetap legal secara operasional.

5. Batas waktu pengembangan

Sesuai dengan batasan pada aspek fungsional, proses pengembangan alat dijadwalkan selesai dalam waktu 6 bulan, termasuk tahap perancangan, pembuatan, pengujian sistem, dan integrasi seluruh komponen. Waktu tersebut dianggap ideal untuk memastikan sistem bekerja secara stabil dan efektif dalam kondisi lapangan yang sebenarnya, sekaligus memberi ruang untuk penyempurnaan fungsi pendeteksian dan pengusiran dan dapat diterapkan secara langsung.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kebutuhan yang perlu dipenuhi sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, antara lain :

1. Sistem mampu mendeteksi dan mengidentifikasi hama babi hutan pada lahan pertanian.
2. Sistem mampu memberikan respon pengendalian hama babi hutan setelah terdeteksi.

3. Sistem mampu memberikan informasi kepada petani apabila terdeteksi aktivitas hama babi pada lahan pertanian.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi, tujuan utama yang ingin dicapai adalah merancang, membangun dan menguji sebuah sistem yang mampu mendeteksi keberadaan hama di lahan pertanian dan memberikan respon pengendalian setelah hama terdeteksi, serta memberikan informasi kepada petani terkait aktivitas hama pada lahan pertanian. Dengan demikian, sistem diharapkan mampu menanggulangi keterbatasan respon manual dan ketergantungan pada metode pengendalian manual petani terhadap kemunculan hama terutama dalam hal waktu, tenaga, dan jangkauan sehingga mencegah eskalasi hama lebih luas.

1.2 Solusi

Berdasarkan permasalahan yang telah dibahas sebelumnya, maka dapat diajukan beberapa usulan solusi yang ditawarkan. Solusi yang diharapkan adalah alat mampu mendeteksi keberadaan hama dan memberikan respon pengendalian secara otomatis setelah deteksi valid, sehingga proses pengendalian dapat berlangsung tanpa ketergantungan pada kehadiran petani secara langsung.

1.2.1 Karakteristik Produk

Adapun alat yang akan dibangun dirancang dengan karakteristik tertentu yang mencakup fitur-fitur yang perlu ada sebagai solusi yang diusulkan.

1. *Sensing Capability*

Sistem memiliki kemampuan sensorik untuk mendeteksi dan mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk mendeteksi hama pada lahan pertanian.

2. *Computation Method*

Sistem mampu mengolah data hasil deteksi menggunakan metode komputasi yang tepat agar sistem dapat dikembangkan secara optimal dan Output yang dihasilkan lebih akurat.

3. *Computing performance*

Sistem memiliki kinerja komputasi yang optimal untuk memproses deteksi dan identifikasi hama secara *real-time*.

4. *Response Capability*

Sistem mampu memberikan respon pengendalian otomatis setelah deteksi terjadi.

5. *Notification Capability*

Sistem mampu memberikan informasi kepada petani ketika terdeteksi aktivitas hama pada lahan pertanian.

6. *Easy to Use*

Sistem yang dirancang harus mudah dipahami dan dioperasikan oleh pengguna, sehingga petani mampu menggunakan dan mengoperasikan sistem secara mandiri.

1.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan kebutuhan sistem, maka dirancang usulan solusi mampu mendeteksi dan mengendalikan beberapa jenis hama utama pada lahan pertanian secara otomatis. Mengingat karakteristik biologis dan pola serangan masing-masing hama berbeda, solusi yang diusulkan disusun ke dalam beberapa sistem fungsional yang saling melengkapi namun tetap berada dalam satu arsitektur sistem yang sama.

1.2.2.3 Usulan Solusi Hama Babi Hutan

1.2.2.3.1 Solusi 1 Sistem Pendeteksi dan Pengusir Babi Hutan Berbasis Kamera dan Machine Learning

Pada Solusi 1 ini, sistem yang digunakan adalah sistem pendeteksi dan pengusir babi hutan berbasis kamera dan machine learning. Sistem ini dirancang untuk membantu para petani dalam menghadapi gangguan babi hutan yang sering merusak lahan pertanian, terutama pada malam hari atau di

daerah yang sulit dijangkau. Dengan menggabungkan teknologi kamera, kecerdasan buatan, dan sistem pengusir otomatis, alat ini berfungsi sebagai solusi modern yang mampu bekerja secara mandiri tanpa perlu pengawasan manusia secara terus-menerus.

Sistem ini merupakan alat berbasis teknologi kamera yang dilengkapi dengan model machine learning yang mampu mengenali pola visual babi hutan secara spesifik. Dengan menggunakan algoritma pengenalan objek, kamera mampu membedakan antara babi hutan dan objek lain seperti manusia, hewan ternak, atau benda mati di sekitar area pertanian. Hal ini memungkinkan sistem untuk melakukan pendeteksian secara lebih akurat dan mengurangi kesalahan identifikasi yang sering terjadi pada sistem berbasis sensor gerak konvensional.

Dari sisi sensing capability, sistem ini menggunakan kamera beresolusi tinggi yang mampu bekerja dalam berbagai kondisi pencahayaan, baik siang maupun malam. Kamera dapat dilengkapi dengan sensor inframerah (IR) atau night vision module, sehingga objek tetap dapat dideteksi dengan jelas meskipun dalam kondisi minim cahaya. Kemampuan sensing ini memastikan sistem dapat terus beroperasi secara efektif selama 24 jam tanpa henti di area perkebunan yang luas.



Gambar 1.2 Contoh penglihatan kamera Infra Merah.

Proses pengenalan citra dilakukan melalui unit computing performance yang dioptimalkan untuk perangkat komputasi menengah keatas. Sistem ini tidak memerlukan server besar di lokasi karena sebagian besar pemrosesan dilakukan di perangkat (*edge computing*). Hal ini membuat sistem lebih efisien dan cepat dalam merespons setiap kejadian yang terdeteksi.

Untuk aspek pengolahan data, data visual yang ditangkap kamera akan dikompresi dan diubah menjadi frame gambar, lalu dianalisis oleh model machine learning. Model tersebut akan mengidentifikasi pola bentuk, ukuran tubuh, serta gerakan khas babi hutan. Sebagian data juga dapat disimpan ke dalam cloud database guna memperbarui model AI secara berkala dan meningkatkan kemampuan adaptif sistem terhadap kondisi lapangan yang berubah-ubah.

Tingkat *accuracy* dari sistem ini dapat mencapai di atas 85% setelah dilakukan proses pelatihan (*training*) dan pengujian menggunakan dataset citra babi hutan yang bervariasi dari berbagai sudut pandang dan kondisi lingkungan. Akurasi ini masih dapat meningkat seiring dengan bertambahnya data dan perbaikan model. Dengan demikian, sistem dapat belajar dari kesalahan sebelumnya dan memberikan hasil pendeteksian yang semakin tepat.

Begitu objek teridentifikasi sebagai babi hutan, sistem akan mengaktifkan notification capability yang mengirimkan notifikasi real time kepada pengguna. Pemberitahuan dapat berupa pesan melalui aplikasi mobile, pesan teks, atau dashboard web yang menampilkan hasil tangkapan gambar dan waktu kejadian. Dengan sistem notifikasi ini, petani dapat segera mengetahui kondisi lahan tanpa harus berada di lokasi secara langsung, sehingga dapat melakukan tindakan lanjutan dengan cepat.

Selain memberikan peringatan, sistem ini juga memiliki mekanisme pengusiran otomatis. Terdapat dua komponen utama yaitu lampu flash dan speaker ultrasonik. Lampu flash berfungsi untuk mengejutkan babi hutan melalui

cahaya terang yang mendadak, sementara speaker mengeluarkan suara keras atau frekuensi tertentu yang tidak disukai oleh babi hutan. Kombinasi keduanya terbukti efektif membuat hewan tersebut menjauh dari area pertanian tanpa melukai atau mengganggu lingkungan sekitar.

Dari sisi power consumption, sistem ini dirancang dengan konsep low power untuk mendukung penggunaan jangka panjang di lapangan. Komponen seperti mikrokontroler, modul kamera, dan sistem komunikasi dipilih berdasarkan efisiensi energi tinggi. Selain itu, alat ini dapat ditenagai oleh panel surya dengan sistem penyimpanan daya menggunakan baterai lithium, sehingga tetap beroperasi meskipun tanpa pasokan listrik utama.

Untuk aspek cost, total estimasi biaya pengembangan dan perakitan alat ini berkisar antara Rp7–8 juta rupiah, yang mencakup kamera, mikrokontroler, modul komunikasi, sistem penyimpanan daya, serta perangkat pengusir otomatis. Biaya tersebut dinilai masih terjangkau untuk proyek skala penelitian maupun penerapan di lahan pertanian kecil hingga menengah.

Dari segi waktu pengembangan atau development timeline, sistem ini dirancang agar dapat diselesaikan dalam jangka waktu enam bulan. Tahapan tersebut meliputi perancangan perangkat keras (hardware design), pemrograman perangkat lunak (software development), pelatihan model machine learning, integrasi sistem, serta pengujian lapangan untuk memastikan kinerja optimal.

Selain unggul dalam aspek teknis, sistem ini juga dirancang agar easy to use. Pengguna hanya perlu menyalakan perangkat, melakukan sedikit konfigurasi awal melalui aplikasi, dan sistem akan bekerja secara otomatis. Tampilan antarmuka pengguna dibuat sederhana dan informatif, menampilkan status sistem, hasil deteksi, serta opsi kontrol manual apabila dibutuhkan. Dengan kemudahan penggunaan ini, petani dengan latar belakang non-teknis pun dapat mengoperasikannya dengan mudah.

Secara keseluruhan, Solusi 1 ini menawarkan sistem pendeteksi dan pengusir babi hutan berbasis kamera dan machine learning sebagai inovasi cerdas dan efisien dalam melindungi lahan pertanian. Dengan kemampuan sensing yang andal, performa komputasi yang efisien, akurasi tinggi, daya rendah, biaya terjangkau, serta kemudahan operasional, sistem ini menjadi solusi yang sangat potensial untuk diterapkan di berbagai wilayah pedesaan yang sering menghadapi ancaman serangan babi hutan.

1.2.2.3.2 Solusi 2 Sistem Pendeteksi dan Pengusir Babi Hutan Berbasis Sensor Infrared + Sensor Ultrasonik dan Penyemprotan Cairan Berbau Menyengat

Pada Solusi 2 ini, sistem yang digunakan adalah alat pendeteksi dan pengusir babi hutan berbasis sensor jarak (infrared) dan sensor ultrasonik yang dilengkapi dengan mekanisme penyemprotan cairan berbau menyengat. Sistem ini dikembangkan untuk memberikan solusi yang sederhana, hemat biaya, dan efektif dalam menjaga lahan pertanian dari serangan babi hutan, khususnya pada malam hari saat hewan tersebut aktif.

Sistem ini memanfaatkan sensor Infrared sebagai komponen utama untuk mendeteksi adanya pergerakan dan perubahan suhu tubuh di sekitar area pengawasan. Sensor infrared bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah alami yang dipancarkan oleh tubuh makhluk hidup, termasuk babi hutan. Dengan prinsip ini, alat dapat mengenali kehadiran hewan dengan sensing capability yang cukup tinggi, bahkan dalam kondisi minim cahaya. Untuk meningkatkan akurasi jarak deteksi, sistem ini juga dilengkapi sensor ultrasonik, yang berfungsi mengukur jarak objek yang bergerak di depan alat sehingga deteksi menjadi lebih akurat dan tidak mudah salah identifikasi.

Ketika kedua sensor tersebut mendeteksi adanya pergerakan dan suhu tubuh yang sesuai dengan karakteristik babi hutan, sistem akan memproses data tersebut secara langsung. Pada tahap ini, computing performance yang dibutuhkan relatif rendah karena pengolahan hanya melibatkan pembacaan data

digital dari sensor infrared dan ultrasonik serta pemicu aktuator. Mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino UNO sudah sangat memadai untuk menjalankan logika kontrol penyemprotan, pengiriman notifikasi, serta pengaturan waktu kerja alat.

Dari sisi pengolahan data, sistem ini bekerja secara lokal (on-device processing). Data dari sensor infrared dan ultrasonik akan diproses secara real time untuk menentukan apakah pergerakan yang terdeteksi merupakan hewan besar seperti babi hutan atau hanya hewan kecil seperti ayam atau anjing. Jika deteksi memenuhi kriteria tertentu, sistem akan memicu aktuator pompa cairan untuk melakukan penyemprotan secara otomatis.

Mekanisme penyemprotan ini menggunakan cairan dengan aroma yang menyengat bagi babi hutan namun aman bagi manusia, tanaman, dan lingkungan. Tingkat akurasi (*accuracy*) alat dalam mendeteksi babi hutan dapat mencapai sekitar 80–85%, tergantung pada posisi sensor dan kondisi lingkungan. Dengan penyesuaian ambang sensitivitas (*threshold*) pada sensor infrared dan validasi jarak dari sensor ultrasonik, tingkat kesalahan deteksi dapat diminimalkan.

Untuk memberikan kemudahan pemantauan, alat ini dapat dilengkapi dengan *notification capability* berupa sistem peringatan yang mengirimkan notifikasi ke smartphone pengguna melalui jaringan Wi-Fi atau modul GSM. Notifikasi dapat berupa pesan teks yang memberitahukan bahwa telah terjadi deteksi dan penyemprotan di area tertentu, sehingga pengguna dapat memantau aktivitas alat dari jarak jauh tanpa harus berada di lokasi lahan secara langsung.

Dari sisi *power consumption*, alat ini sangat hemat energi karena bekerja hanya saat ada deteksi pergerakan. Komponen seperti sensor infrared dan ultrasonik memiliki konsumsi daya rendah, dan sistem ini dapat dioperasikan dengan baterai isi ulang atau panel surya kecil. Dengan desain sirkuit hemat daya, alat dapat bertahan sehari-hari bahkan berminggu-minggu tanpa perlu sering diisi ulang.

Dari segi *cost*, sistem ini termasuk dalam kategori *low cost*. Estimasi biaya pembuatan prototipe berkisar antara Rp1,5 juta hingga Rp2,5 juta, tergantung jenis pompa, kapasitas tangki cairan, serta modul komunikasi yang digunakan. Harga ini jauh lebih murah dibanding sistem berbasis kamera dan machine learning, sehingga lebih mudah diterapkan oleh petani kecil di daerah pedesaan.

Untuk *development timeline*, sistem ini dapat diselesaikan dalam waktu sekitar enam bulan, mencakup tahap perancangan rangkaian elektronik, pembuatan prototipe, integrasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian lapangan. Dalam jangka waktu tersebut, sistem dapat dikembangkan hingga mencapai versi yang stabil dan siap diterapkan di lingkungan nyata.

Dari aspek *easy to use*, alat ini dirancang dengan kemudahan penggunaan sebagai prioritas utama. Petani hanya perlu menempatkan alat di area yang sering dilewati babi hutan, mengisi tangki dengan cairan pengusir, dan menyalakan sistem. Pengaturan waktu kerja, sensitivitas sensor, serta frekuensi penyemprotan dapat diatur melalui tombol sederhana atau aplikasi mobile yang terhubung. Desain yang user-friendly ini memungkinkan alat digunakan oleh siapa pun tanpa perlu keahlian teknis khusus.

Secara keseluruhan, Solusi 2 ini menawarkan pendekatan yang praktis, hemat energi, dan berbiaya rendah dalam menghadapi masalah serangan babi hutan. Dengan kombinasi antara sensor infrared, sensor ultrasonik, sistem penyemprotan otomatis, dan fitur notifikasi, alat ini mampu memberikan perlindungan efektif terhadap lahan pertanian tanpa merusak lingkungan. Inovasi ini sangat potensial diterapkan secara luas di wilayah pedesaan karena mudah dibuat, mudah digunakan, serta mampu memberikan dampak nyata dalam menjaga ketahanan hasil pertanian.

1.2.2.3.3 Solusi 3 Sistem Pagar Pintar dengan Deteksi Sensor Getaran dan Dorongan

Pada Solusi 3 ini, sistem yang digunakan adalah pagar pintar (smart fence) yang berfungsi untuk mendeteksi dan merespons upaya masuk atau kerusakan oleh babi hutan. Pagar ini tidak hanya berperan sebagai penghalang fisik, tetapi juga sebagai sistem keamanan aktif yang mampu mengenali dorongan atau getaran abnormal yang timbul ketika babi hutan mencoba menembus atau merusak pagar. Sistem ini memberikan peringatan dini kepada petani sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan atau gangguan pada lahan pertanian.

Pagar pintar ini bekerja dengan memanfaatkan sensor getaran (*vibration sensor*) dan sensor tekanan (*force sensor*) yang terpasang di beberapa titik strategis pagar. Sensor getaran berfungsi mendeteksi setiap guncangan atau benturan yang terjadi pada struktur pagar, sedangkan sensor tekanan digunakan untuk mengenali dorongan fisik dengan kekuatan tertentu. Kombinasi dua sensor ini memberikan sensing capability yang baik karena dapat mendeteksi baik gerakan halus maupun dorongan kuat yang menjadi ciri khas aktivitas babi hutan di sekitar pagar.

Setelah sinyal dari sensor diterima, sistem akan memproses data tersebut menggunakan unit pengendali sederhana yang bertugas membedakan antara getaran normal (seperti angin atau ranting jatuh) dengan getaran yang menandakan adanya upaya masuk dari hewan besar. Dengan demikian, *computing performance* yang dibutuhkan tergolong ringan, karena prosesnya hanya melibatkan analisis ambang batas sinyal sensor dan logika kontrol sederhana untuk memutuskan apakah sistem perlu mengaktifkan alarm atau tidak.

Pada tahap pengolahan data, sistem bekerja secara lokal tanpa perlu koneksi internet. Data dari sensor diubah menjadi sinyal digital dan dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) yang sudah ditentukan. Jika getaran atau tekanan yang terdeteksi melebihi ambang tersebut, maka sistem akan memicu respon otomatis berupa alarm suara atau lampu peringatan. Proses ini

berlangsung sangat cepat sehingga respons terhadap gangguan dapat dilakukan secara real time.

Dari segi *accuracy*, sistem pagar pintar ini memiliki kemampuan deteksi yang cukup baik dengan tingkat keakuratan mencapai sekitar 90%, tergantung pada sensitivitas sensor dan kondisi lingkungan tempat alat dipasang. Kalibrasi dilakukan untuk mengurangi kemungkinan kesalahan deteksi akibat faktor eksternal seperti angin kencang atau hujan deras.

Apabila sistem mendeteksi adanya dorongan atau getaran yang kuat, maka *notification capability* akan diaktifkan. Sistem dapat memberikan pemberitahuan dalam bentuk alarm suara keras, lampu peringatan, atau notifikasi melalui perangkat nirkabel ke ponsel pengguna. Dengan adanya fitur ini, petani dapat mengetahui kondisi pagar secara langsung tanpa harus selalu berada di lokasi. Selain itu, alarm suara juga berfungsi untuk mengusir babi hutan secara psikologis, karena suara keras biasanya membuat hewan tersebut ketakutan dan menjauh.

Untuk aspek *power consumption*, sistem ini dirancang agar hemat energi. Komponen sensor getaran dan tekanan memiliki kebutuhan daya yang sangat rendah dan hanya aktif saat terjadi perubahan nilai deteksi. Sistem dapat ditenagai oleh baterai isi ulang dengan tambahan panel surya kecil untuk penggunaan jangka panjang di lapangan, sehingga alat tetap dapat berfungsi secara mandiri tanpa memerlukan sumber listrik eksternal.

Dari sisi *cost*, estimasi biaya pembangunan sistem pagar pintar ini berkisar antara Rp7 juta hingga Rp8 juta, mencakup struktur pagar, sensor getaran dan tekanan, unit pengendali, alarm, serta sumber daya mandiri. Biaya tersebut relatif mahal untuk ukuran sistem keamanan pertanian karena memerlukan instalasi sistem di sepanjang pagar.

Dalam hal *development timeline*, sistem ini dapat diselesaikan dalam waktu sekitar enam bulan namun sangat bergantung pada luasnya lahan. Lahan yang luas membuat pemasangan sistem menjadi lebih banyak, mencakup tahap

perancangan perangkat keras, pengujian sensitivitas sensor, perakitan modul alarm, integrasi sistem, serta uji coba di lapangan untuk memastikan efektivitasnya terhadap berbagai kondisi lingkungan. Dengan manajemen waktu yang baik, sistem sudah bisa berfungsi optimal dalam jangka waktu tersebut.

Dari sisi *easy to use*, alat ini dirancang agar mudah dipasang dan dioperasikan. Sensor cukup ditempelkan atau dipasang pada bagian pagar tanpa perlu modifikasi rumit, sementara pengoperasian sistem hanya memerlukan tombol daya dan indikator sederhana. Pengguna juga dapat menyesuaikan tingkat sensitivitas sensor melalui pengaturan manual untuk menyesuaikan kondisi lingkungan setempat. Dengan desain antarmuka yang sederhana, sistem ini dapat digunakan oleh petani tanpa latar belakang teknis khusus.

Secara keseluruhan, Solusi 3 ini menawarkan pendekatan efektif, hemat energi, dan mudah diimplementasikan dalam perlindungan lahan pertanian. Dengan kombinasi deteksi getaran dan dorongan, sistem mampu memberikan perlindungan aktif terhadap babi hutan tanpa memerlukan pemantauan terus-menerus. Alat ini tidak hanya meningkatkan keamanan lahan, tetapi juga memberikan kenyamanan dan efisiensi bagi petani dalam menjaga hasil panennya secara berkelanjutan.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Dalam proses analisis usulan solusi, metode *House of Quality* (HoQ) digunakan untuk memastikan kesesuaian antara rancangan solusi dan kebutuhan pengguna. Berdasarkan analisis tersebut, dilakukan penilaian terhadap sembilan usulan solusi yang dikelompokkan menurut jenis hama sasaran. Setiap sub-sistem terdiri dari tiga alternatif solusi yang dievaluasi berdasarkan kebutuhan pengguna.

		Rating (1 = low, 5 = high)	Percent of customer importance rating	Functional Requirement						
				▲	▲	▲	▲	▲	▲	
				Sensing Capability	Computation Method	Computing performance	Response Capability	Notification Capability	Easy to Use	
Constraint	Low Cost	3	14%	▲		▲	○		●	
	Tahan Cuaca	5	24%	●		○				
	Autonomous Operation	5	24%		●	○	●	○	●	
	Standar dan Regulasi	3	14%		○		○			
	Development Timeline	5	24%	○	●	○	○	▲		
Importance Rating				43	59	48	58	20	40	
Percent of Importance				16,04%	22,01%	17,91%	21,64%	7,46%	17,78%	
Solusi	Solusi 1			●	●	●	○	●	○	4.503
	Solusi 2			○	○	○	○	○	○	3.184
	Solusi 3			○	●	○	○	○	○	3.642
	Solusi 1			●	○	●	●	●	○	4.346
	Solusi 2			○	○	●	○	●	○	3.592
	Solusi 3			○	○	●	▲	●	○	3.159
	Solusi 1			●	●	●	●	○	●	4.993
	Solusi 2			●	○	○	●	○	●	4.194
	Solusi 3			●	▲	○	○	○	○	2.966

Gambar 1.3 Tabel *House of Quality*

Keterangan :

Relationship :	
●	Strong = 5
○	Fair = 3
▲	Weak = 1

Berikut adalah perhitungan perbandingan solusi dengan fitur atau fungsi utama yang dimiliki sistem agar dapat bekerja sesuai dengan tujuan perancangannya :

Usulan Solusi Hama Babi

Solusi 1

$$(5 \times 0,1604 + (3 \times 0,2201) + (5 \times 0,1791) + (5 \times 0,2164) + (5 \times 0,0746) + (3 \times 0,1778) = \mathbf{4.993}$$

Solusi 2

$$(5 \times 0,1604 + (3 \times 0,2201) + (5 \times 0,1791) + (5 \times 0,2164) + (5 \times 0,0746) + (3 \times 0,1778) = \mathbf{4.194}$$

Solusi 3

$$(5 \times 0,1604 + (3 \times 0,2201) + (5 \times 0,1791) + (5 \times 0,2164) + (5 \times 0,0746) + (3 \times 0,1778) = \mathbf{2.966}$$

Berikut adalah penjelasan mengenai HOQ (*House Of Quality*) untuk permasalahan ini:

Fitur *Low Cost* (Biaya Rendah) memiliki hubungan yang sangat rendah dengan *Sensing capability* dengan nilai 1 karena semakin tinggi kualitas dari sensor dan bagaimana *sensing capability* bekerja, akan semakin tinggi pula biaya yang dibutuhkan. Hal tersebut juga sama dengan *computing performance* yang memiliki nilai hubungan rendah bernilai 1 karena Peningkatan performa komputasi umumnya memerlukan penggunaan prosesor atau perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, yang secara langsung meningkatkan biaya pengadaan sistem. Berbeda dengan hubungan *response capability* yang memiliki nilai sedang yaitu 3 karena respon atau aktuator yang digunakan oleh sistem tidak mengalami terlalu jauh perbedaan harga dari komponen yang dipakai. Hubungan ini menunjukkan kalau harga dari sistem akan sangat menentukan dari segi *sensing capability* dan *computing performance*, namun untuk *respon capability* tidak mengalami terlalu jauh perbedaan signifikan dari segi harga untuk aktuatornya. *Easy to Use* memiliki hubungan yang kuat yakni bernilai 5, dikarenakan kemudahan penggunaan sangat berkaitan dengan biaya rendah karena antarmuka yang sederhana akan mengurangi biaya pengembangan, integrasi, serta pelatihan pengguna.

Fitur Tahan cuaca diberi nilai 5 atau memiliki hubungan yang sangat kuat dengan *sensing capability* karena semakin tahan sensor terhadap hujan, panas, dan debu maka semakin baik kualitas input yang dihasilkan sehingga proses deteksi dapat berjalan secara optimal meskipun perangkat dioperasikan pada kondisi lingkungan yang kurang ideal. *Computing performance* menunjukkan hubungan sedang, karena komponen *hardware* yang kokoh akan menjaga stabilitas operasional sistem.

Fitur *Autonomous Operation* memiliki diberi nilai 5 atau memiliki hubungan yang sangat kuat dengan *computation method* dan *response capability* karena tingkat otomatisasi pengusiran hama pada lahan pertanian setelah deteksi valid sangat ditentukan oleh metode komputasi atau algoritma yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Selain itu, *Response Capability* juga memiliki hubungan sangat kuat dengan *autonomous operation*, karena sistem harus mampu merespons kondisi lingkungan secara otomatis dan tepat waktu. Sedangkan pada *Computing Performance*, dan *Notification Capability* memiliki hubungan sedang, karena ketiganya berperan sebagai pendukung agar sistem otonom dapat berjalan secara efektif, meskipun bukan faktor penentu utama. *Easy to Use* memiliki hubungan kuat yakni 5 dengan *Autonomous Operation*, karena pada sistem yang berjalan secara otomatis, maka akan semakin mudah untuk digunakan bagi pengguna atau petani.

Fitur standar keamanan memiliki hubungan sedang dengan *response capability*, karena respon pengusiran yang terlalu kuat atau intens berpotensi menimbulkan gangguan terhadap manusia, satwa non-target, maupun lingkungan sekitar lahan pertanian. Oleh karena itu, respon sistem perlu dikendalikan agar tetap berada dalam batas aman. Selain itu, *Computation method* juga memiliki hubungan sedang dengan standar keamanan, karena pemilihan metode komputasi yang tepat berperan dalam mengatur tingkat respon pengusiran sehingga tetap efektif namun tidak berlebihan dan tidak menimbulkan dampak negatif.

Selanjutnya, Alat dapat diselesaikan dalam waktu 6 bulan memiliki hubungan yang sangat kuat dengan *Computation method* dengan nilai 5 karena tingkat kompleksitas metode komputasi sangat mempengaruhi durasi pengembangan, pelatihan, dan pengujian sistem. Selain itu, fitur ini memiliki hubungan sedang dengan *sensing capability*, *computing performance*, dan *response capability* karena kemudahan implementasi serta ketersediaan komponen di pasaran dapat mempercepat proses pengembangan sedangkan *Notification Capability* memiliki hubungan yang lemah, karena sistem notifikasi tidak berpengaruh besar terhadap waktu pengembangan karena bukan bagian utama dari proses deteksi. Sistem tetap dapat berjalan tanpa notifikasi dan dapat diimplementasikan pada tahap akhir pengembangan tanpa mempengaruhi durasi pengembangan inti sistem.

Selanjutnya dilakukan analisis perbandingan setiap solusi pada setiap sistem dengan fitur atau fungsi utama yang dimiliki sistem agar dapat bekerja sesuai dengan tujuan perancangannya

1.2.3.1 Usulan Solusi Hama Babi

Solusi 1 Sistem Pendeteksi dan Pengusir Babi Hutan Berbasis Kamera dan Machine Learning

Solusi pertama dengan fitur dasar *sensing capability* memiliki nilai yang kuat yaitu 5 karena dengan solusi ini maka kemampuan dari *sensing capability* dapat dideteksi dengan akurat baik dari tampilan visual dari babi hutan maupun seluruh kegiatan yang dilakukan oleh babi hutan dapat dideteksi oleh kamera dan *machine learning*. *Computation method* juga memiliki nilai 5 karena metode komputasi yang digunakan lebih akurat menggunakan *machine learning* dengan training yang dilakukan lebih dulu sebelumnya. Hal tersebut juga berlaku dengan *computing performance* dari sistem ini yang sama-sama mendapatkan nilai 5 karena *machine learning* yang digunakan memerlukan *computing performance* yang mumpuni untuk menjalankan model. *Response capability* memiliki nilai 5 karena sistem dapat langsung mendeteksi adanya babi hutan dan dapat menjalankan *aktuator* secara otomatis dari deteksi

tersebut. Sedangkan untuk *notification capability* memiliki nilai 3 karena sistem tidak terlalu bergantung terhadap kemampuan memberikan notifikasi karena tidak terlalu signifikan perbedaan dari ketiga sistem lainnya dalam *notification capability*. *Easy to Use* bernilai 5 karena sistem ini berjalan secara otomatis tanpa memerlukan tindakan manual sehingga memudahkan pengguna.

Solusi 2 Sistem Pendeteksi dan Pengusir Babi Hutan Berbasis Sensor infrared + Sensor Ultrasonik dan Penyemprotan Cairan Berbau Menyengat

Solusi kedua memiliki nilai 5 pada *sensing capability* karena sistem memiliki kemampuan mendeteksi yang mumpuni juga dengan sensor yang digunakan yaitu sensor infrared dan sensor ultrasonik dimana kedua sensor ini memiliki *sensing capability* yang baik. Pada *computation method* diberikan nilai 3 karena metode komputasi yang digunakan tidak terlalu kompleks dibandingkan solusi 1 *machine learning*. *Computing performance* memiliki nilai 3 karena memerlukan sistem yang bisa mengolah data dengan baik dari sensor dan mengaktifkan aktuator yang sesuai. *Response capability* memiliki nilai 5 karena sistem dapat memberikan respon yang sesuai dengan mengaktifkan aktuator berupa penyemprotan bau yang tidak disukai oleh babi hutan tersebut. Sedangkan untuk *notification capability* memiliki nilai 3 karena sistem tidak terlalu bergantung terhadap kemampuan memberikan notifikasi karena tidak terlalu signifikan perbedaan dari ketiga sistem. *Easy to Use* bernilai 5 karena sistem ini berjalan secara otomatis tanpa memerlukan tindakan manual sehingga memudahkan pengguna.

Solusi 3 Sistem Pagar Pintar dengan Deteksi Sensor Getaran dan Dorongan

Solusi ketiga memiliki nilai 5 dalam *sensing capability* karena sensor getaran dan dorongan yang terpasang pada pagar dapat menerima respon dan deteksi dengan baik. *Computing method* memiliki nilai 1 karena metode komputasi yang digunakan tidak dapat membedakan sumber deteksi tersebut apakah benar babi hutan atau tidak dan hanya melakukan pengolahan data dari input.

Computing performance diberi nilai 3 karena memerlukan mikrokontroler yang standar dan hanya dari sensor. Untuk *response capability* diberi nilai 3 karena aktuator pada solusi ketiga ini tidak bersifat aktif dan bersifat pasif yaitu pagar pencegah. Sedangkan untuk *notification capability* memiliki nilai 3 karena sistem tidak terlalu bergantung terhadap kemampuan memberikan notifikasi karena tidak terlalu signifikan perbedaan dari ketiga sistem lainnya dalam *notification capability*. Fitur *Easy to Use* memiliki nilai 3 karena sistem ini berjalan secara otomatis namun untuk verifikasi apakah babi hutan terusir atau tidak itu perlu pengecekan manual karena pagar pintar bersifat menghalangi dan mengidentifikasi, sedangkan untuk pengusiran otomatis tidak bisa.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *House of Quality* (HoQ) dengan mempertimbangkan fitur dasar dan konstrain, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pengendalian hama otomatis pada lahan pertanian berbasis deteksi dan respon *real-time* merupakan solusi utama dalam memenuhi kebutuhan sistem. Dalam implementasinya, sistem ini dibagi dalam beberapa sistem yang disesuaikan dengan karakteristik hama pada lahan pertanian yang berbeda-beda. Setiap sistem dianalisis melalui keterkaitan antara fitur dasar dan fitur tambahan, kemudian dibandingkan melalui sembilan usulan solusi pada masing-masing sistem untuk menentukan solusi terbaik yang paling sesuai.

1.2.4.3 Solusi sistem Pengendalian Hama Babi

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *House of Quality* (HoQ), solusi pertama menjadi alternatif terbaik pada sistem pengendalian hama babi hutan karena memiliki nilai tertinggi terhadap fitur yang ada dibandingkan usulan solusi lainnya dengan nilai 4.993. Solusi satu menjadi solusi yang lebih efektif daripada solusi lainnya karena dapat lebih menjamin pendeteksian dari objek babi hutan pada lahan pertanian. Dengan adanya *machine learning* dan kamera maka pengguna lebih dapat menjamin kepastian dari identifikasi babi

hutan yang dideteksi dan dapat melihat notifikasi dari kemunculan babi hutan hingga dihidupkannya aktuator dan babi tersebut pergi dari lahan pertanian. Dengan sistem dari solusi pertama masalah dari lahan yang luas bisa teratasi juga dengan jangkauan dari kamera yang luas. Aktuator yang digunakan dalam *response capability* juga dapat aktifkan dari hasil *machine learning* yang mendeteksi adanya objek babi hutan kemudian dihidupkan langsung lampu sorot dari sistem menggunakan *relay* hingga babi hutan tersebut pergi dari kawasan pertanian.

Secara keseluruhan solusi 1 sistem pendeteksi dan pengusir babi hutan berbasis kamera dan *machine learning* menjadi pilihan karena lebih efisien dan andal dalam pendeteksian dan lebih mudah memberikan jaminan hasil deteksi yang akurat bagi petani. Serta *respon capability* dari sistem yang aman dan sederhana yang bisa melakukan pengusiran babi hutan dari aktuator dan dapat di cek dari kamera hingga babi hutan pergi meninggalkan lahan pertanian. Hal ini menjadi pilihan solusi yang bisa mengatasi hama babi hutan masuk ke area lahan pertanian.

