

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Lebah tanpa sengat secara taksonomi termasuk dalam ordo Hymenoptera, famili Apidae dan subfamili Meliponinae. Dua subfamili lainnya adalah Apinae (lebah madu), dan Bombiinae (lebah tanah). Lebah dari subfamili Meliponinae sangat bervariasi secara morfologi dan memiliki keanekaragaman spesies tertinggi diantara lebah Corbiculate (Apinae, Bombini dan Sekitar 700 spesies lebah tanpa sengat telah diidentifikasi. Lebah tanpa sengat ini tersebar dari daerah tropis hingga subtropis.

Di Indonesia, lebah tanpa sengat ini dikenal dengan nama “kelulut” (Kalimantan; Melayu), “galo-galo” (Sumatera Barat), “klanceng” (Jawa), “opulo” (Sulawesi) dan “te'uweul” (Sunda). Lebah Galo-Galo berperan penting dalam penyerbukan tanaman berbunga serta dapat menghasilkan produk bernilai ekonomi seperti madu dan propolis yang menambah hasil bagi para peternak. Lebah Galo-Galo atau lebah tanpa sengat, merupakan komponen ekosistem yang penting karena perannya sebagai penyerbuk alami, membantu menjaga keseimbangan lingkungan. Namun, meskipun memiliki potensi ekonomi yang besar, peternak lebah galo-galo seringkali dihadapkan pada masalah serius, yaitu tingginya angka kematian koloni[1].

Tantangan utama yang dihadapi peternak adalah seringnya terjadi kematian koloni secara tiba-tiba, yang membuat proses pemeliharaan menjadi sulit dan tidak efisien. Masalah ini tidak hanya mengurangi produksi madu dan produk lebah lainnya, tetapi juga mempengaruhi kelestarian lebah dan keseimbangan ekosistem di sekitarnya. Kematian koloni lebah galo-galo disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan dan biologis yang saling berkaitan, seperti perubahan suhu ekstrim, serangan hama dan predator, penyakit, penggunaan pestisida, dan kekurangan sumber makanan.

Permasalahan ini menjadi lebih kompleks karena melibatkan berbagai aspek teknis yang saling berkaitan, seperti kesehatan lebah, kualitas sarang, dan interaksi dengan

lingkungan[2]. Setiap aspek ini memiliki sub masalah tersendiri, yang memerlukan pendekatan berbeda untuk diatasi. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh mahasiswa biologi Universitas Andalas bahwa hama merupakan salah satu penyebab utama tingginya angka kematian koloni pada lebah galo-galo. Sehingga dapat diambil sebuah masalah **“Hama pada lebah galo-galo menyebabkan peternak lebah kesulitan sehingga sering terjadinya mati secara berkoloni”**. Yang mana nantinya implementasi dilakukan pada sarang lebah di Hutan Pendidikan dan Penelitian Biologi (BERF).

Dampak dari kematian koloni lebah galo-galo tidak hanya dirasakan oleh peternak, tetapi juga berdampak pada keberlangsungan usaha mereka. Penurunan populasi lebah akan langsung mempengaruhi produksi madu dan produk-produk lebah lainnya, yang menjadi sumber pendapatan utama bagi peternak. Jika masalah ini tidak segera diatasi, hal ini dapat mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan bagi para peternak. Oleh karena itu, penting untuk mencari solusi yang dapat meminimalkan kematian koloni dan mendukung keberlanjutan usaha peternakan lebah [2].

1.2 Informasi Pendukung Masalah

Permasalahan hama merupakan salah satu penyebab utama tingginya angka kematian koloni pada lebah galo-galo. Berbagai jenis hama sering kali menyerang sarang lebah, mulai dari serangga kecil hingga predator yang lebih besar. Hama-hama ini dapat mengganggu aktivitas koloni, merusak sarang, serta mengurangi produktivitas lebah dalam menghasilkan madu, propolis, dan lilin. Di Hutan Pendidikan dan Penelitian Biologi (BERF) Universitas Andalas, ditemukan 23 spesies yang tergolong dalam 10 famili dan 9 ordo, yang diduga sebagai hama bagi lebah galo-galo. Dari berbagai famili tersebut, famili Formicidae (semut) yang termasuk dalam ordo Hymenoptera mendominasi dengan jumlah terbesar, yaitu 68 individu. Serangan semut menjadi ancaman paling sering ditemui bagi lebah galo-galo, menjadikan upaya pengendalian hama ini sangat penting di lokasi tersebut [1].

Lebah tanpa sengat membutuhkan lingkungan dengan suhu udara antara 28-36°C, sehingga distribusi mereka sangat dipengaruhi oleh ketinggian tempat, karena semakin tinggi lokasi, suhu udara cenderung menurun. Di sisi lain, semut sebagai

hama yang sering menyerang sarang lebah lebih menyukai suhu sekitar 24°C dengan kelembapan tinggi. Meskipun terdapat sedikit perbedaan suhu *ideal*, tingginya tingkat kelembapan yang sama-sama disukai oleh kedua spesies membuat lingkungan sarang lebah tanpa sengat menjadi tempat yang menarik bagi semut, sehingga meningkatkan risiko serangan hama.

Semut diperkirakan terganggu oleh gelombang ultrasonik pada rentang frekuensi 30 kHz hingga 70 kHz, berdasarkan penelitian yang menunjukkan bahwa serangga kecil umumnya responsif terhadap gelombang ultrasonik dalam rentang tersebut.

Selain dipengaruhi suhu lingkungan, semut juga berkomunikasi antar sesama menggunakan feromon, yaitu zat kimia yang ditinggalkan di sepanjang jalur yang dilalui untuk menandai rute menuju sumber makanan bagi semut lainnya[21]. Perilaku inilah yang menyebabkan semut cenderung datang secara berkelompok mengikuti jalur yang sama menuju sarang lebah. Ukuran sarang dari lebah galo-galo ini kisaran 30×20 cm atau 20×15 cm. Terdapat 3 tingkat sarang lebah galo-galo yaitu terdiri dari:

1. Stup: Bagian yang digunakan untuk menutupi bagian atas dari *toping*.
2. Topping: Bagian tempat lebah galo-galo meletakkan pot madu dan pot *bee pollen*.
3. Kotak Koloni: Wadah yang digunakan sebagai tempat sarang anak-anak lebah galo-galo [1].

Proses penyimpanan madu pada bagian topping tidak mengharuskan lebah pencari nektar untuk berpindah, karena nektar yang dibawa dari luar diserahkan kepada pekerja muda yang bertugas mengisi dan menyimpan makanan di dalam sarang sehingga proses pengisian dan penyimpanan ke pot madu berlangsung secara internal[20].

Ketiga bagian sarang ini menyatu dalam satu ruang yang saling terhubung, meskipun berada pada tingkat yang berbeda[18]. Oleh karena itu, gangguan semut yang masuk melalui area Topping untuk mencuri madu tetap dapat memengaruhi kestabilan koloni secara keseluruhan, karena aktivitas semut di dalam sarang dapat mengganggu lalu lintas lebah maupun menimbulkan stres pada koloni di bagian bawah[19].



Gambar 1. 1 Sarang Lebah Galo-Galo

Solusi yang ada saat ini, seperti pemberian kapur barus secara manual untuk mengusir hama semut, memang telah banyak diterapkan oleh peternak lebah galo-galo. Kapur barus memiliki bau yang tidak disukai semut, sehingga dapat mengusir hama tersebut dari sarang lebah. Namun, solusi ini sering kali tidak efektif dalam jangka panjang karena kapur barus mudah menguap, dan peternak harus terus-menerus menggantinya. Selain itu, pemberian kapur barus secara manual membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih, serta tidak dapat secara aktif mengontrol jumlah hama yang menyerang dalam waktu tertentu[1].

Penggunaan kapur barus juga berisiko mengganggu koloni lebah jika jumlahnya berlebihan atau diletakkan terlalu dekat dengan sarang. Kapur barus dapat menyebabkan perubahan aroma dalam sarang yang mungkin berdampak negatif pada aktivitas lebah, terutama dalam produksi madu.

Oleh karena itu, meskipun pemberian kapur barus dapat menjadi solusi sementara, masih diperlukan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi serangan semut. Solusi berbasis teknologi yang mampu memantau hama secara real-time dan memberikan peringatan dini kepada peternak akan lebih bermanfaat dalam jangka panjang, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan lebih tepat dan efisien.

1.2.1 Analisis Masalah

1. Aspek Ekonomi: Kematian koloni lebah galo-galo berdampak langsung pada penurunan produksi madu dan propolis, yang mempengaruhi kesejahteraan peternak lokal. Banyak peternak bergantung pada hasil lebah ini sebagai sumber pendapatan, sehingga solusi yang ditawarkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang mengandalkan peternakan lebah[2].
2. Aspek Lingkungan: Lingkungan sarang lebah galo-galo yang ditempatkan di area lembab, terutama di dekat pepohonan, menciptakan lingkungan yang ideal tidak hanya untuk lebah, tetapi juga untuk berbagai hama seperti semut. Kondisi lembab mendukung perkembangan semut yang tertarik pada sumber makanan alami seperti nektar dan madu yang diproduksi oleh lebah. Semut, sebagai hama yang agresif, dapat menyerang sarang, merusak struktur internal, dan mengancam koloni lebah, khususnya dengan mencuri madu atau menyerang lebah dewasa dan larva. Ketidakseimbangan ekologis di lingkungan sekitar sarang ini menambah tantangan bagi peternak lebah dalam menjaga koloni tetap sehat dan produktif[3].
3. Aspek Pendidikan: Diperlukan peningkatan pengetahuan peternak mengenai teknologi modern dan cara yang tepat dalam mengelola hama secara efektif. Dengan demikian, solusi yang ditawarkan juga dapat menciptakan peluang edukasi bagi peternak untuk memahami teknologi berbasis IoT dan penggunaannya dalam manajemen lebah secara berkelanjutan.

Analisis dari berbagai aspek ini menunjukkan bahwa proyek ini memiliki dampak yang luas dan positif, serta layak mendapatkan dukungan untuk implementasinya.

1.2.2 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

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

1. Solusi harus mampu mengurangi hama terutama semut pada lebah galo-galo.
2. Solusi harus mampu beroperasi secara otomatis.
3. Solusi harus mampu bekerja secara *real time*.
4. Sistemnya dibuat tahan terhadap cuaca hujan.

5. Alat dirancang agar mampu bertahan dan berfungsi selama 24 jam.

1.2.3 Tujuan

Tujuan dari penyelesaian masalah dengan solusi yang ditawarkan adalah untuk mengurangi populasi hama, khususnya semut, di sekitar sarang lebah galo-galo. Dengan meminimalkan gangguan dari hama semut, diharapkan lingkungan sarang dapat lebih terlindungi dan mendukung kelangsungan hidup koloni lebah galo-galo.

1.3 Solusi

1.3.1 Karakteristik Produk

Berdasarkan permasalahan tersebut, berikut beberapa fitur penting yang perlu ada pada solusi yang ditawarkan.

a. Fitur Dasar

1) *Notification Capabilities*

Solusi yang ditawarkan mampu memberikan notifikasi jarak jauh kepada peternak lebah terkait status dan kondisi sistem yang digunakan.

2) *Sensing Capabilities*

Sistem mampu mendeteksi kondisi lingkungan sarang atau keberadaan hama semut di sekitar sarang lebah, sehingga tindakan pencegahan atau pengusiran dapat dilakukan

3) Sumber Daya Mandiri

Solusi mampu menggunakan energi yang dapat diandalkan agar sistem dapat beroperasi di lokasi peternakan lebah tanpa perlu bergantung pada sumber listrik eksternal.

4) Dapat diselesaikan dengan metode komputasi

Solusi yang ditawarkan nantinya harus dapat diselesaikan dengan metode komputasi dengan tujuan bertujuan untuk membuat sistem lebih adaptif dan efisien dalam merespons situasi.

b. Fitur Tambahan

1. *Low Power Consumption*

Solusi yang ditawarkan memiliki konsumsi daya yang rendah, sehingga dapat beroperasi jika diperlukan selama 24 jam.

2. Ramah Lingkungan

Solusi menggunakan bahan alami seperti minyak kayu manis atau metode non-invasif seperti gelombang ultrasonik, yang tidak berbahaya bagi lebah dan ramah lingkungan.

3. *Cost Effective*

Solusi yang ditawarkan dibuat dengan biaya produksi yang rendah tidak melebihi Rp. 2000.000, namun tetap mampu memberikan solusi terhadap masalah hama semut pada lebah galo-galo.

4. Mudah pemeliharaannya

Sistem dirancang agar sederhana dalam hal perawatan dan perbaikan, sehingga pengguna tidak memerlukan keahlian teknis yang tinggi untuk menjaga alat tetap berfungsi dengan baik.

5. Dapat dikerjakan selama 4 bulan

Solusi yang ditawarkan nantinya harus dapat dikerjakan kurang 4 bulan.

6. Peningkatan Efektivitas

Solusi yang ditawarkan harus mampu meningkatkan efektivitas sistem secara keseluruhan, terutama dalam hal deteksi dan penanganan masalah.

1.3.2 Usulan Solusi

Berikut beberapa usulan solusi yang dapat memecahkan permasalahan tersebut.

1.3.2.1 Solusi 1 (Sistem IoT dengan Pengendalian Lingkungan Sarang Lebah)

Solusi pertama yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menerapkan pengendalian lingkungan di sekitar sarang lebah galo-galo melalui sistem IoT yang dirancang untuk memonitor suhu dan kelembapan. Sistem ini berfungsi untuk menjaga kondisi lingkungan sarang agar tetap optimal, sehingga dapat mencegah terciptanya situasi yang mendukung pertumbuhan dan penyebaran hama semut. Dalam implementasinya, sensor suhu dan kelembapan akan dipasang

untuk mendeteksi perubahan kondisi di dalam sarang lebah. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor tersebut akan diproses oleh mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul WiFi.

Mikrokontroler ini akan menampilkan data secara *real-time* di layar LCD, memudahkan peternak untuk memantau kondisi langsung di lokasi. Selain itu, data ini akan dikirimkan ke aplikasi android, sebuah platform IoT yang memungkinkan penyimpanan dan analisis data. Informasi yang dikirim ke aplikasi android dapat diakses oleh peternak melalui aplikasi android yang terinstal di *smartphone* mereka. Dengan sistem ini, peternak dapat dengan mudah memantau kondisi lingkungan sarang lebah galo-galo dari mana saja dan kapan saja. Hal ini membantu mereka dalam mengambil tindakan cepat apabila terjadi perubahan kondisi yang berpotensi membahayakan koloni lebah, seperti suhu yang tidak sesuai dengan ketentuannya.

Pendekatan *fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk mengevaluasi parameter suhu dan kelembapan secara dinamis, sehingga dapat menentukan status lingkungan sarang sebagai ideal, kurang ideal, atau berbahaya.[4].

1.3.2.2 Solusi 2 (Pengusir Hama Ultrasonik Terintegrasi IoT)

Solusi kedua berdasarkan analisis permasalahan ini adalah Pengusir Hama Ultrasonik Terintegrasi IoT. Sistem ini dirancang untuk mengusir semut tanpa mengganggu lebah itu sendiri. Sistem ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik yang berada di luar rentang pendengaran lebah, namun sangat mengganggu bagi semut sehingga mereka akan menjauhi sarang. Penggunaan modul pemancar ultrasonik kecil menghasilkan gelombang pada frekuensi yang sudah disesuaikan untuk menargetkan semut itu di atas 20kHz.

Sistem ini dilengkapi dengan modul IoT yang memungkinkan koneksi ke jaringan internet sehingga perangkat dapat dikontrol dari jarak jauh. Peternak lebah dapat mengatur frekuensi atau durasi aktivasi ultrasonik semuanya melalui aplikasi di *smartphone*. Energi untuk sistem ini diperoleh dari baterai. Gelombang ultrasonik dapat diatur untuk jarak pendek, sesuai dengan ukuran sarang lebah, sehingga sistem ini bekerja secara efisien dan tidak memengaruhi area lain di luar sarang [5].

Penggunaan metode pengambilan keputusan logika tak tepat memungkinkan sistem untuk mengevaluasi tingkat aktivitas semut secara dinamis berdasarkan data dari sensor pendeteksi. Dengan metode ini, sistem dapat menentukan kondisi area sarang sebagai kategori rendah, sedang atau tinggi.

1.3.2.3 Solusi 3 (Sistem Penyemprotan Cairan Otomatis)

Solusi ketiga berdasarkan analisis permasalahan ini adalah sistem alat penyemprotan cairan otomatis. Sistem ini dirancang untuk secara efektif mengusir semut yang mengancam koloni lebah galo-galo dengan menggunakan cairan sebagai bahan alami yang tidak berbahaya bagi lebah. Sistem ini dilengkapi dengan sensor deteksi hama, seperti sensor inframerah atau sensor getaran mikro, yang berfungsi mendeteksi pergerakan semut di sekitar sarang lebah. Ketika pergerakan semut terdeteksi, sistem akan mengaktifkan modul pompa mini yang akan menyemprotkan cairan secara otomatis.

Sistem ini juga menggunakan modul IoT untuk menghubungkan perangkat ke internet, memungkinkan pengaturan dan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi diponsel. Peternak lebah dapat menerima notifikasi ketika penyemprotan dilakukan dan dapat mengontrol sistem sesuai kebutuhan. Energi untuk menjalankan sistem ini dapat diperoleh dari baterai, sehingga operasionalnya bersifat mandiri dan ramah lingkungan. Dengan menggunakan wadah untuk menyimpan cairan, sistem ini siap beroperasi secara efisien untuk menjaga kesehatan koloni lebah galo-galo dengan mengendalikan hama semut secara efektif[6][7].

Penggunaan metode pengambilan keputusan logika tak tepat memungkinkan sistem untuk mengevaluasi tingkat aktivitas semut secara dinamis berdasarkan data dari sensor pendeteksi. Dengan metode ini, sistem dapat menentukan kondisi area sarang sebagai kategori rendah, sedang atau tinggi

1.4 Analisis Usulan Solusi

Berikut adalah analisa usulan solusi menggunakan *House Of Quality*

FITUR		Notification Capabilities	Sensing Capabilities	Sumber Daya Mandiri	Dapat dikerjakan dengan Metode Komputasi		jumlah	solusi 1	solusi 2	solusi 3
Low Power Consumption Tahan 24 Jam (5)	20%	△	3	5	○			○	△	5
Ramah Lingkungan (3)	15%		●	●	3			3	○	●
Dapat dikerjakan kurang dari 4 bulan (5)	20%	○	3	○	5			5	5	5
Cost Efective (4)	20%	3	●	●	5			5	●	5
Pemeliharaan Mudah (3)	25%	3		3	3			5	5	●
		43 17%	59 23%	82 32%	76 29%	260 100%		4,3	3,9	5
solusi 1		1	3	○	●	3,25				
solusi 2		○	●	3	5	4,04				
solusi 3		3	5	5	5	4,67				

Gambar 1. 2 *House of Quality*

Keterangan

● = 5 (Hubungan Kuat)

○ = 1 (Hubungan Sedang)

△ = 3 (Hubungan Kurang)

Berdasarkan Tabel *House of Quality* diatas didapatkan point akhir dari setiap solusi sebagai berikut:

Fitur dasar:

$$\text{Solusi 1: } (1 \times 43/260) + (3 \times 59/260) + (0 \times 82/260) + (5 \times 76/260) = (43 + 177 + 0 + 380) / 260 = 600 / 260 = \mathbf{3,25}$$

$$\text{Solusi 2: } (3 \times 43/260) + (5 \times 59/260) + (3 \times 82/260) + (5 \times 76/260) = (129 + 295 + 246 + 380) / 260 = 1050 / 260 = \mathbf{4,04}$$

$$\text{Solusi 3: } (3 \times 43/260) + (5 \times 59/260) + (5 \times 82/260) + (5 \times 76/260) = (129 + 295 + 410 + 380) / 260 = 1214 / 260 = \mathbf{4,67}$$

Fitur Tambahan:

$$\text{Solusi 1: } (3 \times 20\%) + (3 \times 15\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 25\%) = 0,6 + 0,45 + 1 + 1 + 1,25 = \mathbf{4,3}$$

$$\text{Solusi 2: } (1 \times 20\%) + (3 \times 15\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 25\%) = 0,2 + 0,45 + 1 + 1 + 1,25 = \mathbf{3,9}$$

$$\text{Solusi 3: } (5 \times 20\%) + (5 \times 15\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 25\%) = 1 + 0,75 + 1 + 1 + 1,25 = 5,0$$

Berikut adalah hubungan antar fitur tambahan dan fitur dasar berdasarkan simbol yang ada pada gambar *House of Quality* (HOQ):

Fitur ***low power consumption*** memiliki hubungan yang erat dengan **sumber daya mandiri**, karena sistem yang mandiri, seperti penggunaan panel surya atau baterai, sangat bergantung pada efisiensi daya agar dapat beroperasi dalam jangka panjang tanpa pengisian ulang. Untuk ***notification capabilities*** dan ***sensing capabilities***, hubungan mereka lebih lemah, karena meskipun ada upaya untuk mengoptimalkan daya, notifikasi dan sensor tetap membutuhkan daya ekstra agar dapat berfungsi secara terus-menerus. Sedangkan untuk **metode komputasi**, konsumsi daya rendah memiliki pengaruh sedang, karena meskipun komputasi yang efisien mendukung penghematan daya, penggunaan daya juga bergantung pada intensitas tugas yang dijalankan.

Ramah lingkungan memiliki hubungan erat dengan ***sensing capabilities*** dan **sumber daya mandiri**, karena sensor yang efisien dan penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya mengurangi dampak lingkungan secara signifikan. Pada ***notification capabilities***, tidak ada hubungan langsung karena meskipun notifikasi digital tidak berdampak langsung pada lingkungan, mereka tetap menggunakan sumber daya yang dapat berpengaruh jika digunakan secara berlebihan. Untuk **metode komputasi**, hubungan ramah lingkungan memiliki pengaruh sedang karena efisiensi perangkat lunak dan perangkat keras dapat mengurangi penggunaan sumber daya, meskipun pengaruhnya tidak sebesar pada fitur lainnya.

Dapat dikerjakan < 4 bulan memiliki hubungan moderat dengan hampir semua fitur dasar, tetapi hubungan yang lebih kuat terlihat pada **metode komputasi**, yang dapat diterapkan dengan cepat menggunakan perangkat yang sudah ada. Pemasangan ***sensing capabilities*** dan **sumber daya mandiri** juga memerlukan waktu yang cukup, tetapi tidak secepat implementasi komputasi. Di sisi lain, ***notification capabilities*** memerlukan waktu integrasi yang moderat karena melibatkan perangkat lunak dan pengaturan jaringan.

cost effective sangat berhubungan erat dengan *sensing capabilities* dan **sumber daya mandiri**, karena sensor yang efisien dan penggunaan energi terbarukan mengurangi biaya jangka panjang, serta penggunaan sumber daya yang dapat diandalkan mengurangi ketergantungan pada sumber daya eksternal. Untuk *notification capabilities* dan **metode komputasi**, biaya dapat tetap terjangkau karena menggunakan teknologi yang sudah ada, namun membutuhkan sumber daya tambahan seperti *server* atau layanan *cloud*.

Terakhir, **mudah pemeliharaannya** berhubungan moderat dengan *notification capabilities*, karena pemeliharaan perangkat lunak dan pemantauan koneksi relatif sederhana. Namun, *sensing capabilities* dan **sumber daya mandiri** tidak memiliki hubungan signifikan dengan pemeliharaan karena sensor dan sumber daya mandiri biasanya memerlukan pemeliharaan yang minimal, kecuali untuk membersihkan panel surya atau sensor secara berkala.

Ketiga solusi yang ditawarkan (pengendalian lingkungan dengan IoT, pengusir hama ultrasonik, dan sistem penyemprotan otomatis) memenuhi setiap fitur dasar yang diinginkan, karena semuanya mendukung kemampuan untuk memantau dan mengendalikan kondisi sarang lebah serta mengurangi gangguan dari hama semut secara efektif.

Berikut penjelasan analisis solusi dengan fitur dasar:

Solusi 1: Solusi pertama memiliki kemampuan *notification capabilities* (1), karena sistem notifikasi yang digunakan masih sederhana dan hanya memberikan informasi dasar kepada pengguna sehingga belum sepenuhnya mendukung pemantauan secara real-time. Pada fitur *sensing capabilities* (3) karena sistem sudah menggunakan sensor untuk mendeteksi kondisi tertentu, namun sensornya belum kompleks untuk menjadi parameter. Pada fitur **sumber daya mandiri** (1) karena sistem masih bergantung pada sumber listrik eksternal dan belum memanfaatkan sumber daya alternatif seperti baterai atau panel surya untuk mendukung operasional secara mandiri. Sementara itu pada fitur **dapat dikerjakan dengan metode komputasi** (5) karena sistem memanfaatkan pengolahan data menggunakan mikrokontroler sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan secara otomatis melalui metode komputasi.

Solusi 2: Solusi kedua memiliki kemampuan ***notification capabilities*** (3), karena sistem sudah mampu memberikan notifikasi kepada pengguna melalui sistem monitoring berbasis IoT, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem dari jarak jauh meskipun fitur notifikasi yang diberikan masih terbatas pada informasi tertentu. Pada fitur ***sensing capabilities*** (5) karena sistem sangat mengandalkan sensor untuk mendeteksi kondisi lingkungan secara lebih akurat sehingga data yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Pada fitur **sumber daya mandiri** (3) karena sistem sudah memiliki pengelolaan daya yang lebih baik dibandingkan solusi pertama, namun masih membutuhkan sumber daya listrik tambahan agar dapat beroperasi secara stabil. Pada fitur **dapat dikerjakan dengan metode komputasi** (5) karena seluruh proses pengolahan data sensor dilakukan menggunakan metode komputasi pada mikrokontroler sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis.

Solusi 3: Solusi ketiga memiliki kemampuan ***notification capabilities*** dengan nilai 3, karena sistem sudah mampu memberikan notifikasi kepada pengguna melalui platform monitoring sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara lebih mudah. Pada fitur ***sensing capabilities***, solusi ini memperoleh nilai 5 karena sistem menggunakan sensor sebagai komponen utama untuk mendeteksi kondisi lingkungan secara akurat sehingga informasi yang diperoleh lebih lengkap. Pada fitur **sumber daya mandiri**, solusi ini memperoleh nilai 5 karena sistem dirancang agar dapat memanfaatkan sumber daya secara lebih mandiri, misalnya dengan penggunaan sumber energi yang efisien sehingga sistem dapat beroperasi lebih lama tanpa ketergantungan besar pada sumber listrik eksternal. Pada fitur **dapat dikerjakan dengan metode komputasi**, solusi ini memperoleh nilai 5 karena sistem sepenuhnya memanfaatkan metode komputasi untuk mengolah data sensor serta mengendalikan perangkat secara otomatis sehingga kinerja sistem menjadi lebih optimal.

Berikut penjelasan analisis solusi dengan fitur tambahan:

Solusi 1: Solusi pertama memiliki keunggulan pada fitur **low power consumption** (3), karena sistem menggunakan komponen elektronik yang relatif hemat energi, namun masih memerlukan suplai daya secara terus-menerus sehingga efisiensinya

belum maksimal. Pada fitur **ramah lingkungan (5)** karena sistem bekerja tanpa menggunakan bahan kimia sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan maupun ekosistem lebah. Pada fitur **dapat dikerjakan kurang dari empat bulan (3)** karena proses perancangan dan integrasi komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan sistem komunikasi masih memerlukan waktu untuk pengujian dan penyesuaian sistem. Pada fitur **cost effective (5)** karena komponen yang digunakan relatif murah dan mudah diperoleh sehingga biaya pembuatan sistem tetap terjangkau. Sementara itu pada fitur **pemeliharaan mudah (5)** karena sistem hanya membutuhkan pengecekan sederhana pada sensor dan sumber daya secara berkala.

Solusi 2: Solusi kedua pada fitur **low power consumption (3)**, karena sistem sudah dirancang cukup hemat energi namun masih menggunakan beberapa komponen yang bekerja secara terus menerus sehingga konsumsi daya masih tergolong sedang. Pada fitur **ramah lingkungan (5)** karena sistem tidak menggunakan zat kimia yang dapat merusak lingkungan sehingga tetap aman bagi ekosistem sekitar. Pada fitur **dapat dikerjakan kurang dari empat bulan (3)** karena proses pengembangan sistem masih memerlukan beberapa tahap pengujian agar integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dapat berjalan dengan baik. Pada fitur **cost effective (5)** karena penggunaan komponen yang efisien membuat biaya pembuatan sistem tetap relatif rendah. Pada fitur **pemeliharaan mudah (5)** karena sistem dirancang agar perawatannya sederhana dan hanya memerlukan pemeriksaan komponen secara berkala.

Solusi 3: Solusi ketiga pada fitur **low power consumption (5)**, karena sistem dirancang dengan manajemen daya yang lebih efisien sehingga dapat beroperasi lebih lama dengan konsumsi energi yang rendah. Pada fitur **ramah lingkungan(5)** karena sistem bekerja tanpa penggunaan bahan kimia sehingga tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada fitur **dapat dikerjakan kurang dari empat bulan (5)** karena metode dan komponen yang digunakan relatif mudah diimplementasikan sehingga proses perancangan sistem dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat. Pada fitur **cost effective (5)** karena komponen yang digunakan memiliki harga yang terjangkau serta tidak memerlukan biaya operasional yang besar. Pada fitur **pemeliharaan mudah (5)** karena sistem hanya

membutuhkan perawatan sederhana seperti pengecekan sensor dan sumber daya secara berkala.

1.4.1 Solusi yang dipilih

Solusi 3, yaitu sistem alat penyemprotan cairan otomatis, dipilih sebagai solusi terbaik untuk mengatasi masalah hama semut pada lebah galo-galo karena beberapa alasan utama yang kuat dan rasional. Pertama, sistem ini memiliki efektivitas tinggi dalam menangani semut secara langsung, karena cairan yang disemprotkan dirancang khusus untuk mengusir atau membunuh semut tanpa membahayakan lebah. Dengan adanya sensor seperti inframerah, sistem dapat mendeteksi kehadiran semut secara *real-time*, yang memberikan respons cepat dan tepat sasaran untuk meminimalkan ancaman terhadap koloni lebah.

Selain itu, efisiensi energi dan sumber daya menjadi keunggulan dari solusi ini. Sistem ini dirancang agar mandiri dengan menggunakan baterai yang dapat bertahan lama, serta hanya mengaktifkan penyemprotan ketika sensor mendeteksi kehadiran semut, sehingga tidak ada penggunaan energi atau cairan yang sia-sia. Dengan pemanfaatan teknologi IoT, peternak dapat memonitor dan mengendalikan sistem ini dari jarak jauh melalui aplikasi *smartphone*, yang memberi fleksibilitas dan kenyamanan dalam operasional sehari-hari.

Sistem juga bisa diselesaikan dalam kurang dari waktu 4 bulan, karena teknologi dan komponen yang digunakan sudah tersedia di pasaran, dan proses instalasi tidak memerlukan pengembangan teknologi yang rumit.

Akhirnya, solusi ini adalah ramah lingkungan, karena menggunakan bahan alami yang aman bagi lebah dan lingkungan, tetapi efektif untuk semut. Kombinasi dari deteksi cepat, respons efektif, kemudahan pemeliharaan, dan ramah lingkungan membuat solusi ini unggul dalam mengatasi hama semut dan menjaga kesehatan koloni lebah secara berkelanjutan.