

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salak memiliki potensi besar sebagai komoditas hortikultura unggulan Indonesia, baik untuk pasar domestik maupun pasar ekspor. Permintaan internasional yang stabil dari negara-negara seperti Kamboja, Malaysia, Thailand, Republik Rakyat Tiongkok, hingga pasar Eropa dan Timur Tengah menunjukkan bahwa salak merupakan sumber devisa negara yang sangat penting. Namun, kelancaran ekspor buah segar sangat sensitif terhadap isu fitosanitari, khususnya terkait ancaman spesies invasif lalat buah (*Bactrocera spp.*) seperti *Bactrocera dorsalis* dan *Bactrocera carambolae*. Karakteristik biologis lalat buah yang polifag dan memiliki tingkat reproduksi yang cepat membuatnya sangat merusak; lalat betina meletakkan telur di dalam daging buah yang kemudian memicu pembusukan internal. Standar karantina internasional sangat ketat terkait hama ini; apabila ditemukan satu lalat buah saja dalam sebuah kelompok pengiriman (*batch*) ekspor, maka seluruh buah dalam *batch* tersebut akan dimusnahkan atau dikembalikan ke negara asal, yang mana biaya penolakan ini dibebankan kepada pihak pengirim dan menimbulkan kerugian devisa yang masif [1],[2].

Untuk mempertahankan status wilayah produksi agar tetap bebas hama atau memiliki prevalensi hama yang rendah, otoritas perdagangan internasional menerapkan standar pemantauan populasi menggunakan indeks *Flies per Trap per Day* (FTD). Indeks FTD didapatkan dengan membagi jumlah lalat yang tertangkap dengan jumlah perangkap dan rentang hari pemasangan. Data FTD yang akurat, sistematis, dan terkini adalah syarat mutlak yang digunakan oleh otoritas karantina untuk menerbitkan sertifikat fitosanitari (*Sanitary Certificate*) dan mempertahankan akses ke pasar ekspor. Standar pedoman internasional seperti FAO/IAEA mengharuskan inspeksi perangkap lalat buah, seperti perangkap Steiner yang menggunakan atraktan *Methyl Eugenol* (ME), dilakukan secara rutin dengan interval 7 hingga 14 hari[3].

Sayangnya, pemenuhan standar inspeksi ini menghadapi hambatan besar di lapangan karena metode pemantauan konvensional masih sangat bergantung pada tenaga kerja manusia (padat karya). Petugas harus mendatangi setiap titik perangkat di lahan yang luas, membuka kontainer, menyortir tumpukan alat secara visual, dan mencatat hasilnya. Proses manual ini diakui memakan waktu, mahal, dan sangat rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) seperti kelelahan atau inkonsistensi metodologi antar petugas. Evaluasi pada metode manual menunjukkan standar deviasi waktu yang sangat tinggi, dengan rentang penyelesaian antara 82,8 hingga 150 detik per perangkat. Lebih jauh, jeda waktu antar inspeksi yang lama menyebabkan resolusi temporal data yang rendah, di mana lonjakan populasi hama sering kali baru disadari setelah kerusakan pada buah telanjur terjadi[3].

Sebagai solusi atas inefisiensi tersebut, telah dikembangkan sebuah purwarupa pra-produksi *PEST Smart Trap* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada penelitian sebelumnya (Skripsi). Purwarupa ini mengotomasi deteksi menggunakan *Infrared (IR) Breaker Array* pada perangkat Steiner yang ditenagai mikrokontroler ESP32-C3, serta menerapkan algoritma *Dynamic Thresholding* berbasis *Exponential Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Drop Back Logic* untuk beradaptasi dengan perubahan cahaya lingkungan. Pengujian pada purwarupa ini membuktikan keberhasilan konsep dengan peningkatan efisiensi waktu pemrosesan data sebesar 98,92%; sistem otomatis hanya membutuhkan waktu rata-rata 1,176 detik per unit perangkat, berbanding terbalik dengan 109,32 detik pada metode manual. Meskipun model pra-produksi tersebut terbukti secara konseptual berhasil memangkas latensi akuisisi data, instrumen tersebut masih berstatus *Proof of Concept* (PoC) karena memiliki keterbatasan fundamental dalam akurasi dan arsitektur perangkat keras di lapangan. Pada pengujian lapangan, akurasi perhitungan sistem mencapai 80,837% dengan kecenderungan menghitung berlebih (*overcounting*), yang ditunjukkan oleh nilai *Mean Bias Error* (MBE) sebesar 5,6. *Overcounting* ini dipicu oleh sensitivitas sensor fotodiode terhadap interferensi spektrum cahaya *Ultraviolet* (UV) dari sinar matahari langsung serta fluktuasi pergerakan awan yang ekstrem, sehingga memicu deteksi

palsu (*false trigger*) di siang hari. Selain itu, perilaku biologis serangga yang sering terbang bolak-balik (*loitering*) di area sensor juga menyumbang pada kesalahan perhitungan. Dari sisi rancangan, konfigurasi *Single-Layer IR Array* pada model pra-produksi menyebabkan perangkat tidak memiliki kemampuan deteksi arah (*directional detection*); hal ini menimbulkan ambiguitas karena sistem tidak dapat membedakan antara lalat yang masuk dan lalat yang tidak sengaja keluar kembali dari pintu (*aperture*), sehingga lalat yang sama berpotensi dihitung berulang kali[3].

Lebih lanjut, agar perangkat IoT dapat didistribusikan dalam skala masif (*mass deployment*) di area pertanian tanpa pemeliharaan rutin, dibutuhkan optimasi pada manajemen daya dan komunikasi nirkabel yang belum sepenuhnya terpenuhi pada model PoC. Oleh karena itu, pelaksanaan kerja magang ini difokuskan pada perancangan, produksi, dan implementasi Model Produksi *PEST Smart Trap* untuk infrastruktur AIIoT *MySalak*. Pada pengembangan magang ini, arsitektur perangkat keras ditransisikan menuju mikrokontroler STM32U585CIUx ARM Cortex-M33 *ultra-low-power* yang dirancang khusus untuk meminimalkan konsumsi energi. Sistem optik juga disempurnakan dengan penambahan penggerak LED TLC5916 untuk *Multi-LED Scanning* yang memberikan stabilitas sinyal. Selain itu, disematkan sirkuit terintegrasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) CN3791 untuk mengoptimalkan efisiensi pemanenan daya panel surya dalam kondisi kanopi yang tertutup. Pada arsitektur perangkat lunak, sistem mengimplementasikan algoritma *1D Centroid Tracking* yang jauh lebih tangguh dalam mengekstraksi pusat geometri lalat dan memfilter pergerakan semu atau durasi persinggahan lalat di area sensor. Rangkaian pembaruan komprehensif ini diharapkan mampu mengatasi anomali lapangan model pra-produksi, sehingga perangkat dapat beroperasi secara mandiri dan akurat untuk melayani kebutuhan standarisasi ekspor komoditas salak.

1.2. Maksud dan Tujuan Kerja Magang

Magang ini dijalani penulis untuk memenuhi persyaratan yudisium dari Universitas Multimedia Nusantara (UMN) yaitu jalur internship track 1. Tujuan

utama penulis sebagai karyawan magang adalah untuk memfinalisasi dan mengimplementasikan PEST (Pests Estimate Spread-spectrum Telemetry) Smart Trap ke infrastruktur utama MySalak. Adapun maksud dan tujuan lengkap dari magang ini yaitu :

1. Mendapatkan pengalaman kerja nyata di bidang IoT dan Embedded Systems, khususnya di implementasi IoT interdisiplin seperti dalam kasus ini yaitu di bidang agrikultur.
2. Melanjutkan pengembangan Smart Trap MySalak :
 - a. Pengembangan *Custom PCB* untuk versi produksi PEST Smart Trap.
 - b. Desain enklosur fisik dari PEST Smart Trap.
 - c. Pengembangan Firmware untuk PEST Smart Trap.
 - d. *Deployment* PEST Smart Trap di Turi, Sleman, Yogyakarta.

1.3. Waktu dan Prosedur Pelaksanaan Kerja Magang

1.3.1. Waktu Pelaksanaan Kerja Magang

Pelaksanaan kerja magang berlangsung selama 6 bulan, dimulai pada bulan Januari 2026 hingga Juni 2026 dengan jam kerja pukul 08:00 hingga 17:00. Seluruh kegiatan riset dan produksi ini bertempat di Laboratorium IoT Universitas Multimedia Nusantara, Gedung C Lantai 5, Ruang C504, di bawah naungan inisiatif proyek *Engineering Projects in Community Service* (EPICS) in IEEE MySalak.

1.3.2. Prosedur Pelaksanaan Kerja Magang

Untuk mengimplementasikan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak dari *production model PEST Smart Trap*, prosedur rekayasa sistem dibagi ke dalam tiga fase utama sebagai berikut:

1. Fase Pengembangan Awal / Initial Development (Januari – Maret 2026) Fase ini berfokus pada perancangan fundamental dan penyusunan purwarupa produksi. Kegiatan pada fase ini meliputi:

- Desain Pemodelan 3D (3D Modelling): Merancang bentuk fisik luar (*enclosure*) awal dari perangkat yang memiliki dua bukaan terpisah (*Aperture A* dan *B*) untuk memfasilitasi penempatan 16 sensor *Infrared Breaker* secara independen.
 - Pengembangan Firmware (Firmware Development): Menulis program dengan arsitektur *polling loop* menggunakan *framework* Arduino-CLI. Fokus utama pengembangan adalah merancang algoritma pelacakan *ID Centroid Tracking* yang andal untuk menyelesaikan cacat logika *cross-aperture merging* dan *sticky shadow merging* dari model pra-produksi.
 - Perancangan PCB (PCB Design): Melakukan perancangan papan sirkuit mandiri dengan bermigrasi ke mikrokontroler STM32U585CIUx untuk mencapai efisiensi daya ultra-rendah. Proses ini mencakup pembuatan *Main Board*, papan *Breakout Opto*, dan *Breakout LED* dengan *driver* TLC5916 untuk *multi-LED scanning*, serta sirkuit terintegrasi CN3791 yang dilengkapi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk efisiensi pengisian tenaga surya.
 - Perakitan (Assembly): Mengeksekusi proses manufaktur dengan melakukan penyolderan komponen *Surface-Mount Device* (SMD) dan mengintegrasikannya ke dalam *enclosure* 3D.
2. Fase Uji Coba Terbatas / Limited Test Run (April 2026) Fase ini bertujuan untuk menguji fungsionalitas dan keandalan purwarupa secara langsung di lapangan. Kegiatan ini mencakup:
- Penerapan Lapangan (Deployment): Melakukan instalasi unit perangkat cerdas di area perkebunan salak di wilayah Turi, Sleman, Yogyakarta. Perangkat ditugaskan untuk menghitung laju hama dan mengirimkan telemetri dengan format *Cayenne LPP* via jaringan nirkabel LoRaWAN.

- Penyesuaian Firmware Deteksi (Detection Firmware Tuning): Mengevaluasi diagnostik kesehatan sensor secara *real-time* di lapangan menggunakan skrip antarmuka terminal. Berdasarkan anomali yang ditemukan, dilakukan *tuning firmware*, salah satunya adalah implementasi mekanisme *Aggressive Suspend* yang menekan fungsi masukan selama 5 detik dan mengeksekusi 30 putaran *ADC flush* kosong pasca-transmisi LoRa, guna membuang muatan interferensi frekuensi radio yang menyebabkan perhitungan palsu.
3. Fase Produksi / Production (Mei – Juni 2026) Setelah fase evaluasi selesai, pelaksanaan magang difokuskan pada penyempurnaan desain dan eskalasi armada perangkat. Kegiatan yang dilakukan meliputi:
- Revisi Model 3D (3D Model Rework): Memperbaiki rancangan mekanikal 3D fisik perangkat berdasarkan umpan balik operasional dan kendala dari masa *deployment* fase sebelumnya untuk memastikan durabilitas optimal terhadap kondisi cuaca perkebunan.
 - Perakitan Massal (Mass Assembly): Melakukan produksi massal unit-unit turunan yang telah melalui revisi desain, merakit komponen keras, dan menyiapkan perangkat secara komprehensif agar *PEST Smart Trap* siap disebar luaskan untuk menunjang kebutuhan pengawasan infrastruktur MySalak.