

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Buah salak merupakan salah satu komoditas ekspor pertanian unggulan Indonesia dengan nilai ekonomi signifikan, khususnya di pasar Tiongkok yang sangat meminati buah ini karena keunikan rasa dan daya simpannya. Kabupaten Sleman, Yogyakarta, merupakan salah satu sentra produksi buah salak berkualitas ekspor ini. Paguyuban Mitra Turindo, yang berperan sebagai salah satu aktor eksportir di wilayah tersebut dan menaungi sekitar 657 petani sedang menghadapi ancaman serius dalam keberlanjutan ekspor salak Indonesia. Ancaman tersebut berupa hama yang ditemukan seperti lalat buah (*Bactrocera carambolae* dan *Bactrocera papayae*), lalat putih, penggerek, tikus, dan tupai, serta penyakit seperti *Dysmicoccus brevipes* dan *Marasmius palmivorus* yang menyerang pohon dan buah salak. [1]

Berdasarkan laporan terbaru keberlanjutan ekspor buah salak Indonesia ke Tiongkok saat ini sedang menghadapi hambatan teknis yang serius. Otoritas Tiongkok (GACC) telah menerbitkan *Notification of Non Compliance* (NNC) menyusul ditemukannya hama lalat buah pada komoditas salak yang dikirimkan. [28] Dampak dari penolakan ini tidak hanya merugikan secara ekonomi melalui penurunan pendapatan petani secara signifikan, tetapi juga menegaskan pentingnya pemenuhan standar *sanitary and phytosanitary* (SPS), yaitu metode resmi untuk memastikan produk pertanian bebas dari hama regulasi guna memenuhi tingkat perlindungan yang sesuai dengan *Appropriate Level of Protection* (ALOP) bagi negara pengimpor. [30]

Berdasarkan pedoman internasional yang ditetapkan oleh FAO/IAEA, pengelolaan hama lalat buah dalam kerangka perdagangan internasional harus didasarkan pada pelaksanaan *Pest Risk Analysis* (PRA) yang komprehensif.

[29, 30] PRA merupakan proses evaluasi bukti ilmiah untuk menentukan kekuatan tindakan *phytosanitary* yang harus diambil terhadap suatu hama. [30] Salah satu poin krusial dalam PRA adalah penilaian terhadap *climatic factors*, karena faktor abiotik lingkungan ini secara langsung menentukan probabilitas masuk, menetap, dan menyebarnya populasi lalat buah di suatu wilayah [29, 30].

Faktor klimatik yang menjadi fondasi utama dalam analisis risiko dan dinamika populasi hama meliputi temperatur, kelembapan relatif, intensitas cahaya, dan curah hujan. [31] Secara biologis, siklus hidup lalat buah seperti *Bactrocera dorsalis* dan *Bactrocera carambolae* sangat diatur oleh faktor-faktor ini:

- Temperatur

Menentukan laju perkembangan tahap telur, larva, dan pupa, di mana suhu yang lebih tinggi cenderung mempercepat siklus hidup hama. [33]

- Kelembapan Relatif dan Curah Hujan

Mempengaruhi keberhasilan kemunculan lalat dewasa dari tanah. Curah hujan yang memadai menjaga kelembaban tanah untuk mendukung kelangsungan hidup pupa, namun curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan tanah jenuh air dan mematikan larva maupun pupa. [30, 33]

- Intensitas Cahaya

Berperan penting dalam mengatur perilaku seksual dan reproduksi lalat buah. Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas kawin lalat buah umumnya dimulai pada intensitas cahaya rendah (<1.000 lux) dan terhambat secara signifikan pada kondisi cahaya yang terlalu kuat atau gelap total. [34]

Meskipun pemantauan parameter cuaca ini sangat mendesak untuk memperkuat prosedur *phytosanitary*, kondisi di lapangan masih menghadapi kekurangan dalam akurasi data. Penggunaan data cuaca dari stasiun BMKG terdekat yang berjarak sekitar 12 kilometer dari area perkebunan terbukti tidak memadai karena tidak mampu merepresentasikan kondisi iklim mikro yang sebenarnya di lapangan. Ketidaktepatan data ini menyebabkan prediksi ledakan hama seringkali terlambat, yang berujung pada kegagalan dalam mempertahankan status kebun yang teregistrasi bebas hama.

Kebutuhan akan data hiperlokal ini mengharuskan penempatan *node* sensor langsung di area perkebunan. Namun, implementasi ini menghadapi kendala infrastruktur yang signifikan. Area perkebunan yang luas dan terpencil tidak terjangkau oleh jaringan internet yang stabil (seperti Wi-Fi) dan tidak memiliki akses ke listrik dari PLN. Kombinasi antara ketiadaan sumber daya listrik dan kebutuhan komunikasi jarak jauh mengharuskan setiap *node* sensor dirancang agar sepenuhnya mandiri mengandalkan kombinasi baterai dan panel surya.

Menanggapi kebutuhan tersebut, sebuah prototipe awal telah diimplementasikan sebelumnya. Sistem ini dirancang untuk mencakup kebutuhan fungsional yang diperlukan, seperti mengukur parameter lingkungan dan mengirimkannya ke server melalui jaringan LoRa. Meskipun *node* sensor pada V1 berhasil membuktikan konsep dan fungsionalitas dasar sistem. Namun dalam implementasi lapangannya, ditemukan sebuah kendala operasional yang krusial, yaitu masalah ketahanan daya. Sebagian besar unit *node* yang disebar di lapangan mengalami kehabisan daya jauh lebih cepat dari yang diperkirakan, menyebabkan hilangnya data periodik dan menuntut perawatan yang intensif.

Analisis awal mengidentifikasi bahwa inefisiensi konsumsi daya ini bersumber dari beberapa faktor pada level perangkat keras, perangkat lunak, dan sistem

power supply. Pada level perangkat lunak, implementasi mode *deep sleep* belum optimal, di mana beberapa komponen *peripheral* tidak sepenuhnya dimatikan dan tetap berada dalam kondisi *standby* yang menyebabkan penggunaan arus (*quiescent current*) yang signifikan. Dari sisi perangkat keras, penggunaan komponen siap pakai (*pre-built components*) seperti *development kit* ESP32 dan modul *solar manager* DFRobot menghasilkan desain yang tidak efisien dan boros daya, dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 *Node IoT* MySalak V1 yang menggunakan *pre-built components*

Terakhir, pada sistem *power supply*, ditemukan bahwa *solar energy* yang didapatkan pada V1 tidak sebanding dengan konsumsi daya harian node. Hal ini menciptakan *negative power budget* yang besar, terutama pada hari-hari berawan dan hujan, di mana daya yang dipanen tidak cukup untuk mengisi ulang daya baterai yang terkuras setiap siklus operasional.

Kegagalan daya dini ini memiliki dampak operasional dan logistik yang sangat merugikan bagi *stakeholder* utama yaitu tim *hardware* MySalak sebagai *maintainer* yang berlokasi di Tangerang (Universitas Multimedia Nusantara).

Nusantara), sementara lokasi implementasi berada di Sleman, Yogyakarta. Keterpencilan geografis ini membuat perawatan rutin menjadi sangat tidak praktis. Idealnya, target *uptime* dari *node* adalah selama mungkin, agar penggantian baterai atau perawatan dapat disinkronkan dengan jadwal kunjungan periodik tim ke lokasi.

Secara faktual per bulan November 2025 saat penelitian ini ditulis, semua *node* V1 sudah tidak lagi berfungsi. Data operasional menunjukkan bahwa masa pakai rata-rata *node* hanya berkisar antara 60 hingga 70 hari (sekitar 2 bulan). Bahkan, *node* dengan performa terbaik yaitu *node* 32, yang di *deploy* pada bulan November 2024, tercatat hanya mampu bertahan selama 1862.92 jam atau setara dengan 77.6 hari (atau sekitar 2.5 bulan). *Node* tersebut terakhir kali tercatat mengirimkan data pada tanggal 25 Januari 2025. Masa pakai *node* ini terbukti sangat tidak memadai untuk mencapai target operasional yang berkelanjutan. Hal ini dikarenakan jadwal kunjungan tim *maintainer* hardware di lapangan rata-rata hanya dapat dilakukan 3 hingga 4 kali dalam setahun (sekitar setiap 3 sampai 4 bulan sekali). Oleh karena itu, durasi operasional minimum yang diharapkan adalah 3 sampai 4 bulan, meskipun ekspektasi idealnya adalah agar ketahanan daya dapat mencapai periode lebih dari satu tahun untuk operasional jangka panjang. Dengan ketahanan daya *node* V1 saat ini, *node* akan mati total jauh sebelum kunjungan *maintainer* berikutnya dapat dilakukan, yang berujung pada hilangnya data kritis dan terganggunya monitoring.

Dampak kegagalan ini juga meluas langsung ke pengguna akhir yaitu ke petani sebagai pengguna utama aplikasi MySalak yang tidak lagi menerima data prediksi terbaru yang krusial untuk operasional mereka, sehingga mengeliminasi nilai guna dari sistem itu sendiri. Kegagalan *node* V1 untuk beroperasi secara berkelanjutan ini menegaskan urgensi untuk merancang ulang sebuah *node* generasi baru yang secara fundamental lebih efisien,

sehingga dapat bertahan di lapangan secara signifikan lebih lama dan menjamin keberlanjutan layanan.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan ulang fundamental dari *node* IoT MySalak untuk mengatasi masalah ketahanan daya yang krusial. Solusi yang diusulkan adalah MySalak V2, sebuah arsitektur baru yang dioptimalkan pada setiap level dengan perancangan PCB *custom* yang terintegrasi, pemilihan komponen *ultra low-power* secara spesifik, pengaplikasian *power gating* serta *clock gating* dan implementasi *firmware* yang memaksimalkan periode tidur. Untuk memvalidasi efektivitas dari desain baru ini, akan dilakukan analisis perbandingan secara kuantitatif antara *node* V1 dan V2. Pengujian akan dilaksanakan dalam dua skala yaitu pengujian laboratorium untuk mengukur profil konsumsi arus secara presisi dalam berbagai mode operasional, serta pengujian lapangan terkontrol untuk mengevaluasi dan membandingkan *power budget* sistem secara keseluruhan.

1.2 Pertanyaan Penelitian

1.2.1 Seberapa besar peningkatan durasi operasional *IoT node* MySalak V2 dibandingkan dengan *node* V1, berdasarkan hasil pengujian konsumsi daya di laboratorium yang dapat dicapai untuk memenuhi target durasi operasional minimum 3 hingga 4 bulan dan mencapai ketahanan daya jangka panjang lebih dari satu tahun?

1.2.2 Apakah *node* V2 mampu menunjukkan peningkatan ketahanan daya operasional yang signifikan dibandingkan V1 dalam pengujian komparatif di lapangan, khususnya dalam mempertahankan level tegangan baterai di bawah kondisi lingkungan yang cahayanya matahari minim ?

1.3 Batasan Penelitian

1.3.1 Penelitian ini berfokus pada perancangan ulang sirkuit elektronika dan optimasi *firmware* pada *IoT node* untuk mencapai efisiensi daya yang maksimal. Aspek perancangan *enclosure* yang tahan cuaca, desain mekanik produk, dan estetika tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.

1.3.2 Perangkat lunak (*firmware*) yang dikembangkan pada *node* hanya mencakup fungsionalitas esensial untuk pembacaan sensor, transmisi data melalui *LoRa*, dan implementasi mode *deep sleep*. Fitur-fitur lanjutan seperti *Over-the-Air (OTA) update*, enkripsi data yang kompleks, atau algoritma pemrosesan sinyal di level *node* tidak akan dibahas.

1.3.3 Penelitian ini dibatasi pada penggunaan mikrokontroler yang kompatibel penuh dengan *Arduino framework*. Batasan ini ditetapkan untuk memastikan interoperabilitas dan kompatibilitas *node V2* yang dikembangkan dengan infrastruktur *gateway* MySalak yang sudah ada.

1.3.4 Penelitian ini menggunakan teknologi *LoRa* sebagai media komunikasi, namun tidak melakukan analisis perbandingan dengan teknologi LPWAN lain atau melakukan optimasi pada level jaringan *LoRaWAN*. Konfigurasi *gateway* dan jaringan diasumsikan sudah ada dan berfungsi dengan baik.

1.3.5 Validasi sistem diprioritaskan pada analisis kuantitatif konsumsi daya yang diukur di lingkungan laboratorium terkontrol. Pengujian lapangan dilakukan secara komparatif antara *node V1* dan *V2* dalam lingkungan luar ruang yang terkontrol untuk mengamati tren ketahanan operasional, bukan untuk menghasilkan data absolut masa pakai baterai di lokasi implementasi sesungguhnya.

1.3.6 Aspek keamanan seperti enkripsi data atau perlindungan terhadap serangan pihak ketiga tidak menjadi fokus penelitian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang dan memvalidasi arsitektur *IoT node* MySalak V2 yang terintegrasi pada *custom* PCB untuk memenuhi kebutuhan jangka operasional yang lebih panjang melalui peningkatan efisiensi daya secara signifikan, sehingga menghilangkan kegagalan daya yang terjadi pada *node* V1.
2. Menganalisis dan memvalidasi secara kuantitatif peningkatan efisiensi daya pada *node* V2 dengan membandingkan parameter konsumsi arusnya terhadap *node* V1, sehingga dapat membuktikan keberhasilan rancang bangun yang dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Praktis bagi Petani dan Pengelola Proyek MySalak

- Menghasilkan prototipe *IoT node* (MySalak V2) yang andal, stabil, dan memiliki ketahanan baterai yang jauh lebih lama, sehingga secara drastis mengurangi frekuensi dan biaya perawatan (penggantian baterai) di lapangan.
- Meningkatkan keberlanjutan dan keandalan sistem monitoring MySalak secara keseluruhan, memastikan data lingkungan dapat dikumpulkan secara konsisten tanpa gangguan akibat kegagalan daya pada *node*.

1.5.2 Manfaat Akademis

- Menyajikan studi kasus yang komprehensif mengenai proses rancang bangun sebuah *IoT node* dengan fokus utama pada optimalisasi daya.
- Menyediakan metodologi praktis untuk melakukan *benchmarking* dan analisis komparatif antara dua versi perangkat IoT, yang dapat menjadi referensi bagi penelitian serupa di masa depan.
- Memberikan wawasan dan referensi teknis mengenai pemilihan komponen berdaya rendah, teknik desain PCB untuk efisiensi daya, dan strategi implementasi *firmware* hemat daya yang dapat diterapkan pada proyek-proyek pengembangan perangkat IoT lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan sistematika penulisan tugas akhir yang terdiri dari:

1. BAB I: Pendahuluan

Pada bab I, penulis membahas latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat dari tugas akhir, serta sistematika penulisan.

2. BAB II: Landasan Teori

Pada bab ini, penulis membandingkan solusi yang sudah ada dan menjelaskan landasan teori yang mendukung penelitian pengembangan sistem yang akan dilakukan oleh penulis.

3. BAB III: Metodologi Perancangan

Pada bab ini, metode penelitian, perancangan modul dan sistem yang akan diimplementasi oleh penulis.

4. BAB IV: Hasil dan Analisa

Pada bab ini, penulis akan mengevaluasi dan menganalisa kinerja dari sistem yang telah dibuat.

5. BAB V: Kesimpulan dan Saran

Pada bab V, akan berisi kesimpulan dan saran dari penelitian dan pengembangan sistem yang telah dilakukan agar dapat bermanfaat bagi civitas akademika lainnya untuk mengembangkan penelitian mereka.

