

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas strategis yang menjadi pilar utama perekonomian Indonesia. Selain sebagai bahan baku minyak goreng, kelapa sawit juga dimanfaatkan dalam industri bioenergi, kosmetik, dan berbagai produk turunan lainnya. Perannya yang vital menjadikan kelapa sawit sebagai salah satu komoditas unggulan nasional yang berkontribusi signifikan terhadap peningkatan devisa negara dan kesejahteraan masyarakat, khususnya petani di wilayah perkebunan (Badan Pengelola Dana Perkebunan, 2025). Seiring meningkatnya permintaan global terhadap produk turunan sawit, efisiensi produksi dan pengelolaan mutu hasil panen menjadi aspek yang semakin penting.

Namun demikian, sektor perkebunan kelapa sawit masih menghadapi berbagai tantangan, salah satunya terkait proses panen yang sangat bergantung pada ketepatan waktu dalam menentukan kematangan buah. Penentuan tingkat kematangan buah menjadi faktor krusial karena berdampak langsung terhadap kualitas dan rendemen minyak yang dihasilkan. Buah yang belum matang umumnya menghasilkan kadar minyak yang rendah, sedangkan buah yang terlalu matang berpotensi meningkatkan kadar asam lemak bebas yang dapat menurunkan kualitas minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil* = CPO) serta harga jualnya. Oleh karena itu, akurasi dalam menilai kematangan buah menjadi salah satu faktor utama dalam meningkatkan efisiensi produksi dan menjaga mutu hasil panen (Islamiah et al., 2021; Rangkuti, 2018).

Untuk mengatasi permasalahan dalam pemantauan tingkat kematangan buah kelapa sawit, berbagai penelitian telah dilakukan guna meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem deteksi. Misalnya penelitian yang dilakukan oleh Indani et al. (2022) mengembangkan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memanfaatkan sensor *loadcell* untuk mengukur berat buah sebagai indikator kematangan. Sementara itu, Hutajulu et al. (2023) mengusulkan sistem IoT yang memungkinkan pemantauan kematangan buah secara otomatis dan dilengkapi dengan fitur notifikasi melalui aplikasi Telegram. Penelitian lain oleh Saputra dan Oktaviyani (2023) mengembangkan sistem deteksi kematangan berdasarkan warna dengan menerapkan algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN) guna mengurangi subjektivitas dalam penilaian. K-NN merupakan salah satu algoritma *supervised learning* yang banyak diaplikasikan dalam penyelesaian masalah klasifikasi dan regresi. Prinsip kerja algoritma ini didasarkan pada pencarian K data terdekat (*nearest neighbors*) dari suatu sampel uji (*query instance*) dan prediksi dilakukan berdasarkan label dari data-data tersebut (Kang, 2021). Keunggulan algoritma ini terletak pada ketangguhannya dalam menangani data yang mengandung *noise* serta efektivitasnya ketika diterapkan pada *training* set yang berukuran besar. Namun demikian, penentuan nilai K yang optimal masih menjadi tantangan dalam implementasinya (Ulya et al., 2021).

Selain K-NN, beberapa penelitian juga menerapkan pendekatan *machine learning* dan *deep learning* dengan algoritma yang lebih kompleks. Kurniawan et al. (2023) mengusulkan model klasifikasi tingkat kematangan buah sawit berbasis *deep learning* dengan menggunakan arsitektur YOLOv5. Peneliti lain, Genoveva dan Syah (2024)

mengembangkan model *machine learning* untuk mendeteksi tingkat kematangan tandan buah segar kelapa sawit menggunakan metode YOLOv8. Sementara, Suharjito et al. (2023) memanfaatkan dataset beranotasi tandan buah kelapa sawit untuk klasifikasi kematangan menggunakan *deep learning*. Meski demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi penentuan karena hanya mengandalkan parameter tunggal seperti warna atau berat. Pendekatan tersebut rentan terhadap kondisi lingkungan dan belum sepenuhnya terintegrasi dalam sistem pemantauan otomatis berbasis *drone* yang mampu melakukan deteksi secara *real-time* di area perkebunan yang luas.

Penelitian ini mengusulkan sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit berbasis AI (*Artificial Intelligence*) dan IoT menggunakan *drone*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasi tingkat kematangan buah secara *real-time*, menggunakan kamera dan algoritma *computer vision* berbasis model *You Only Look Once* (YOLO). Data hasil klasifikasi disajikan dalam bentuk visualisasi data pada *dashboard* berbasis *website*, sehingga mempermudah pengambilan keputusan panen yang lebih tepat dan efisien. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses panen dan produksi CPO secara signifikan, sekaligus memperkuat ketepatan pengambilan keputusan berbasis data. Penerapan sistem berbasis AI dan IoT menjadi langkah strategis dalam menjaga daya saing industri sawit nasional di pasar global dan mendorong penerapan praktik pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang dan membuat sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit menggunakan *drone* berbasis AI dan IoT.
2. Mengukur dan menganalisis akurasi deteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit secara *real-time* berbasis IoT.
3. Menerapkan algoritma AI yang mampu memberikan rekomendasi tingkat kematangan buah kelapa sawit.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Sistem deteksi otomatis berbasis *computer vision* dan IoT memungkinkan pemantauan kematangan buah dilakukan secara cepat dan akurat tanpa perlu inspeksi manual, sehingga menghemat waktu dan tenaga kerja.
2. Sistem ini mengurangi ketergantungan pada penilaian manusia yang sering kali bersifat subjektif dan menjadi tantangan di perkebunan berskala besar.
3. Teknologi ini dapat memastikan pemilihan buah pada tingkat kematangan optimal, yang akan meningkatkan mutu hasil panen dan potensi keuntungan.
4. Dengan waktu panen yang lebih tepat, risiko kehilangan hasil panen akibat panen terlalu dini atau terlambat dapat diminimalkan, serta mendukung pertanian berbasis data yang lebih efisien dan berkelanjutan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Januari 2025 hingga Juni 2025, bertempat di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar dan perkebunan kelapa sawit di desa Patila, Kecamatan Tana Lili, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan.

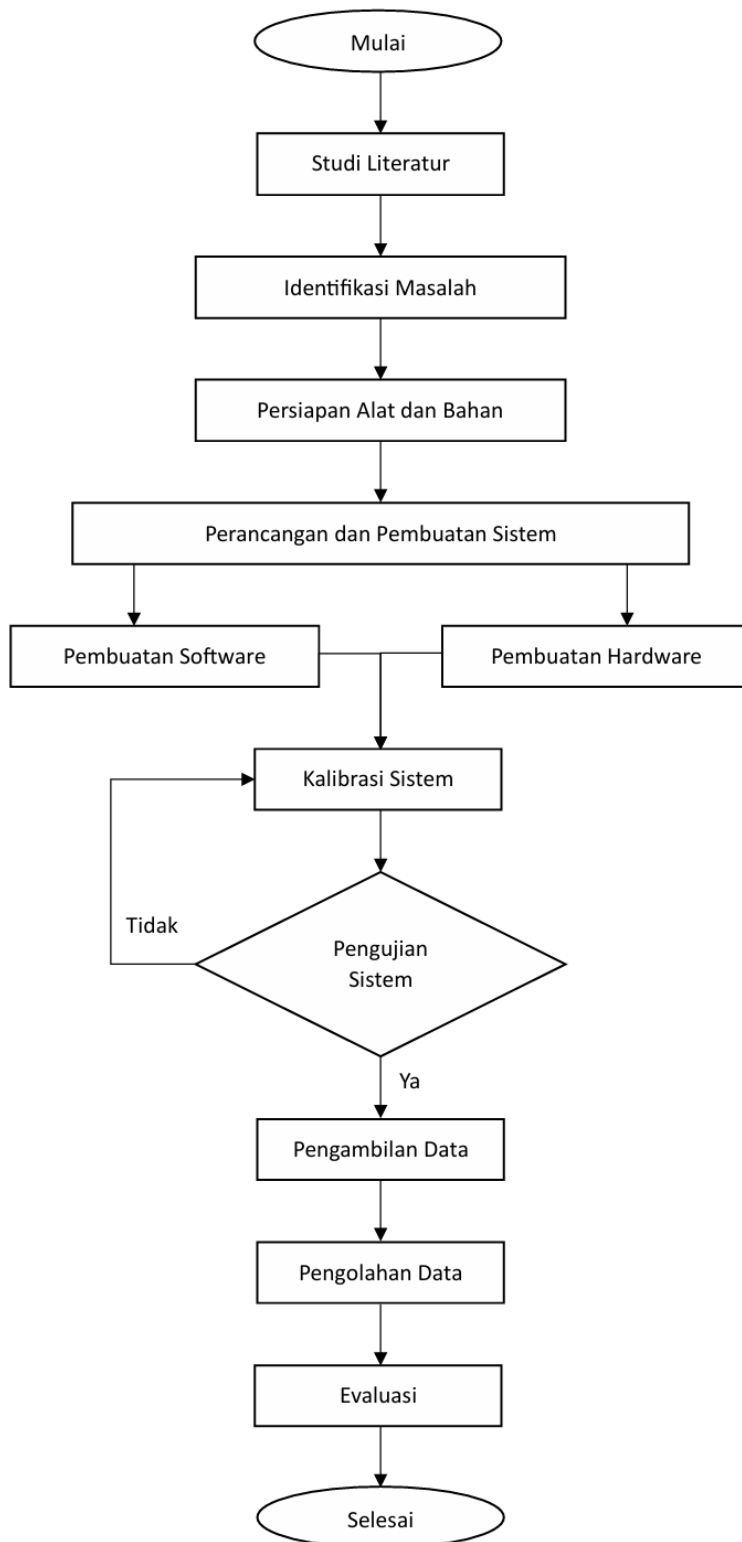
2.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Drone* SJRC F22 S3 Pro, berfungsi sebagai kamera yang untuk mendeteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit.
2. *Remote control drone* SJRC F22 S3 Pro, digunakan untuk mengendalikan *drone*.
3. Laptop, digunakan untuk *train* dataset, mengunggah program yang telah terintegrasi dengan YOLO dan IoT, menerima tampilan *screen mirroring* dari *smartphone*, melihat hasil data mAP dan *precision* dari dataset yang telah dilatih, serta mengamati seberapa besar rata rata pendeteksian model AI secara *real-time*.
4. *Smartphone*, digunakan untuk menampilkan keluaran dari kamera *drone*.

2.3 Metode Kerja

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Fokus penelitian dibatasi pada perancangan dan pembuatan sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit, dengan menggunakan kelapa sawit jenis Dura sebagai objek penelitian.

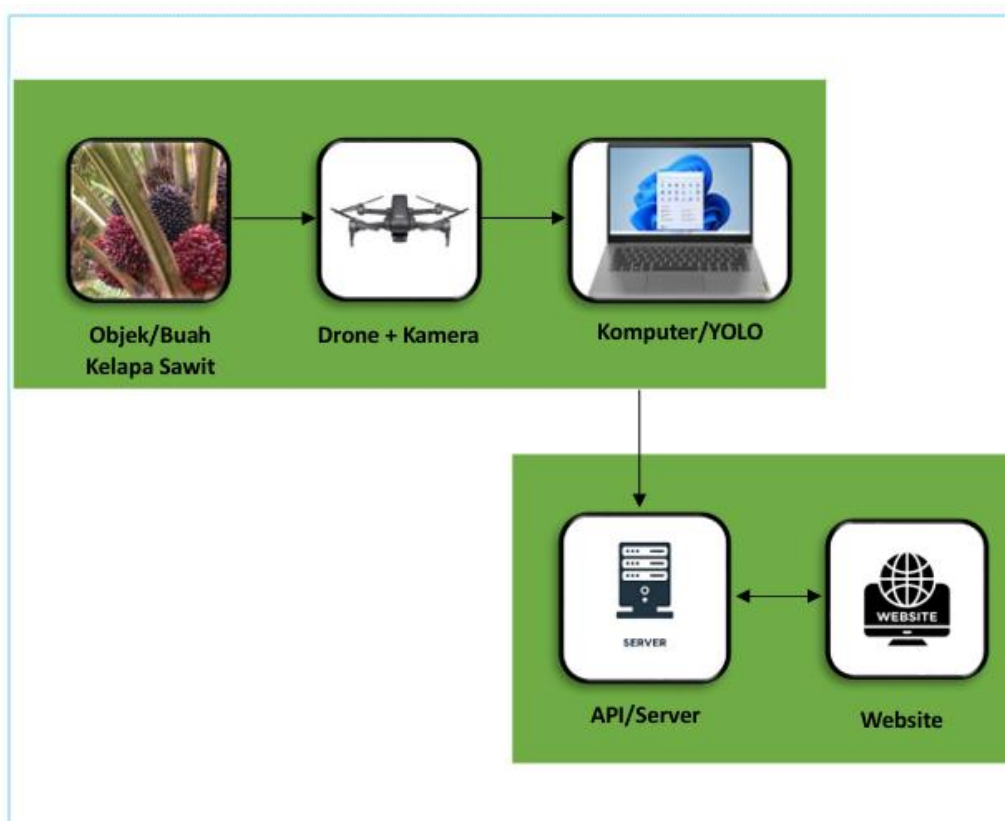


Gambar 1. Bagan alir penelitian

Bagan alir ini menunjukkan tahapan-tahapan pengembangan sistem deteksi tingkat kematangan buah kelapa sawit berbasis *drone*, AI dan IoT. Proses dimulai dari studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang relevan, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi permasalahan serta persiapan alat dan bahan. Tahap selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan sistem, yang meliputi perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Pengembangan perangkat lunak meliputi pembuatan model deteksi objek berbasis YOLO untuk mengolah citra dan mengklasifikasikan tingkat kematangan buah, serta pengembangan sistem pendukung berbasis *web* untuk penerapan IoT. Perangkat keras terdiri dari *drone* berkamera, *remote control*, *smartphone*, dan laptop yang dikonfigurasi menjadi satu sistem deteksi. Setelah sistem selesai dikembangkan, dilakukan kalibrasi sistem untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik. Jika pengujian sistem berhasil, maka dilanjutkan pengambilan data lapangan, pengolahan data, dan evaluasi performa sistem. Apabila sistem belum memenuhi kriteria tersebut, maka dilakukan kalibrasi ulang hingga sistem bekerja secara optimal. Seluruh tahapan diakhiri dengan tahapan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja sistem.

2.3.1 Perancangan sistem

Perancangan sistem dalam penelitian ini meliputi perancangan *software* dan perancangan *hardware*. Perancangan *software* ini terdiri dari perancangan model deteksi objek dengan menggunakan algoritma YOLOv11, perancangan *platform* IoT berupa *website*, serta integrasi program deteksi kematangan buah menggunakan kamera *drone* dan *platform* IoT. Perangkat keras dalam penelitian ini mencakup tiga komponen utama, yaitu *drone*, *smartphone*, *remote control drone* dan laptop atau komputer. *Drone* dilengkapi kamera dengan resolusi tinggi untuk memantau kebun kelapa sawit dari udara dan menangkap citra buah dari berbagai sudut. Laptop atau komputer digunakan untuk melatih model deteksi objek, menjalankan program deteksi secara *real-time*, mengintegrasikan model dengan sistem *drone*, serta menampilkan data hasil deteksi melalui platform *website*. Diagram blok perancangan sistem ditampilkan seperti pada Gambar 2.



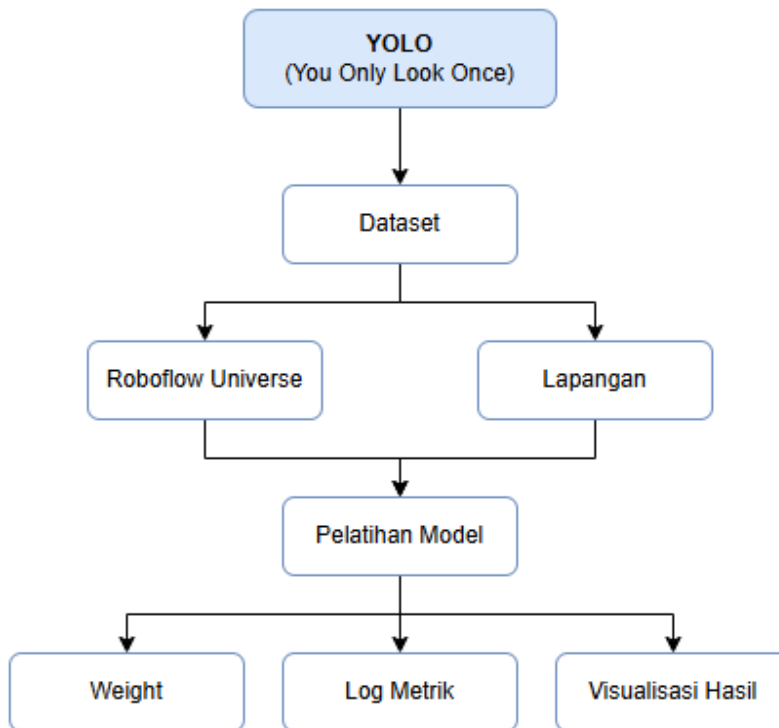
Gambar 2. Diagram blok sistem deteksi kematangan buah kelapa sawit

2.3.2 Perancangan *software*

Perancangan *software* mencakup pelatihan model YOLO, *platform* IoT berbasis *website*, dan sistem deteksi secara *real-time*. YOLO merupakan arsitektur *deep learning* untuk deteksi objek secara *real-time* dengan akurasi tinggi melalui pendekatan *single-stage detection*. Sistem YOLO menerapkan pendekatan pembagian gambar menjadi *grid cell*, di mana setiap sel *grid* bertanggung jawab untuk memprediksi objek yang terletak pada pusatnya. Mekanisme *Non-Maximum Suppression* (NMS) yang digunakan untuk menghindari duplikasi deteksi (*duplicate detection*) dan meningkatkan presisi deteksi. Karakteristik arsitektur ini memungkinkan YOLO mencapai efisiensi komputasi yang tinggi, sehingga mampu memproses aliran video secara *real-time* bahkan pada perangkat dengan *Graphics Processing Unit* (GPU) standar (Rajasekhar 2024).

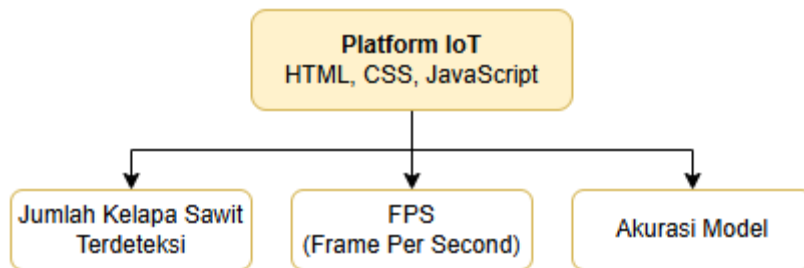
Pelatihan YOLO meliputi dataset sekunder yang diambil dari *platform* Roboflow Universe dan dataset yang ada di lapangan. Dataset ini terdiri dari 6 kelas yaitu: “mentah”, “masak”, “terlalu masak”, “kurang masak”, “tandan kosong”, dan “busuk”. Kedua dataset tersebut kemudian digabung menjadi satu dataset. Dataset tersebut kemudian akan dibagi menjadi 70% data latih, 20% data validasi, dan 10% data uji. Pelatihan model YOLO dapat dilakukan di *platform* Kaggle atau di komputer lokal dengan GPU. Hasil pelatihan meliputi: *weights* model (*best.pt* dan *last.pt*), log metrik pelatihan (*loss*, *mAP*), grafik performa dan contoh prediksi. *File-file* ini menjadi dasar untuk

evaluasi model, inferensi pada data baru, atau *deployment* ke sistem lebih lanjut. Hasil pelatihan ini dapat dimanfaatkan untuk pengujian akurasi, optimasi model, atau integrasi ke dalam aplikasi *real-time* seperti deteksi objek berbasis gambar atau video. Diagram alir pelatihan model ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir perancangan pelatihan YOLO

IoT merupakan teknologi yang merevolusi interaksi antara objek fisik dan dunia digital melalui komunikasi *machine-to-machine*, serta memungkinkan integrasi melalui pengumpulan data dan penyediaan layanan cerdas (Shahrour dan Xie, 2021). Integrasi IoT dengan teknologi seperti *WebAssembly* (WAsm) membuka peluang baru dalam pengembangan aplikasi *web* karena mampu meningkatkan keamanan, kecepatan proses, dan interaktivitas sistem (Ray, 2023). Dalam pembuatan *website*, digunakan tiga komponen utama yaitu: *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS), dan JavaScript. Sistem ini dibangun menggunakan dua *file* utama, yaitu *index.html* yang memuat struktur dan tampilan antarmuka berbasis HTML, CSS, dan JavaScript, serta *server.py* sebagai *server* yang mengirimkan data hasil deteksi ke *website* secara *real-time* untuk memantau jumlah buah yang terdeteksi dalam setiap *frame* video. Setiap *frame* dihitung dalam satuan *frame per second* (FPS) yang menunjukkan jumlah *frame* yang diproses setiap detiknya. Selain itu, *website* juga menampilkan rata-rata *confidence* sebagai indikator akurasi model pada *input* video dari kamera *drone*. Diagram alir *platform* IoT ditampilkan pada Gambar 4.

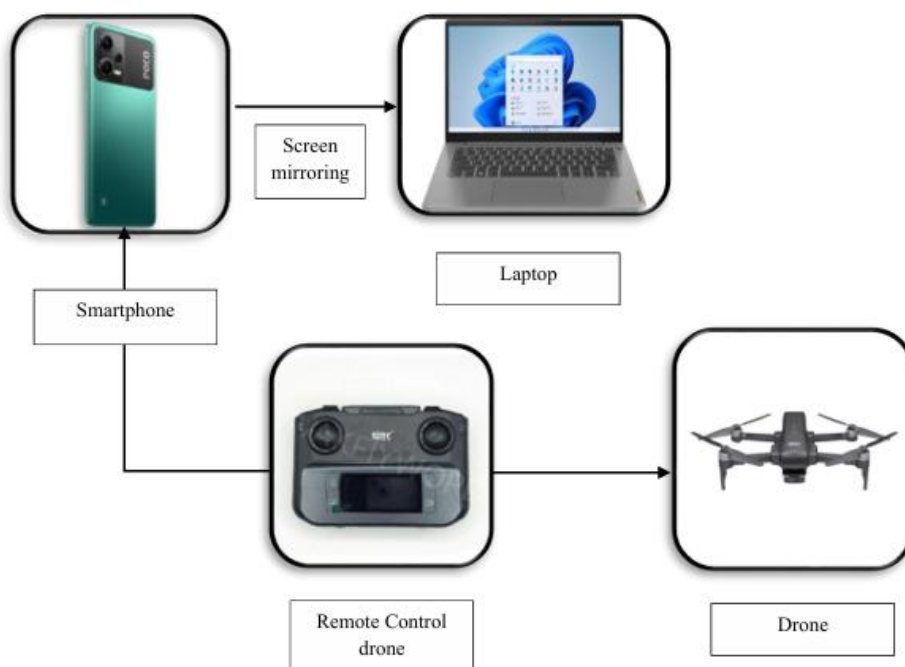


Gambar 4. Diagram alir perancangan *platform* IoT

Setelah merancang kedua perangkat lunak, tahap selanjutnya adalah mengimplementasikan YOLO pada kamera *drone*. Sebelum implementasi dilakukan, sistem terlebih dahulu diuji menggunakan deteksi objek pada layar laptop melalui aplikasi *screen mirroring* yaitu *LetsView*. Hasil *mirror* dari kamera *drone* ditampilkan pada laptop dan diproses secara *real-time* oleh program deteksi objek bernama *YOLO detect*. Program ini dibangun menggunakan Python dengan model terbaik hasil pelatihan (*best.pt*). Setelah program berjalan dengan baik, sistem kemudian diintegrasikan dengan *platform* IoT untuk pemantauan secara langsung.

2.3.3 Perancangan *hardware*

Perancangan *hardware* dalam penelitian ini terdiri dari *drone*, *remote control drone*, *smartphone*, dan laptop. Proses dimulai dengan menghubungkan *smartphone* ke laptop melalui fitur *screen mirroring*. Selanjutnya, *remote control* dan *drone* dihubungkan dengan menyalakan kedua perangkat dalam jarak berdekatan hingga terkoneksi, yang ditandai dengan munculnya status *GPS Mode* pada (*Light Emitting Diode*) LED *remote control*. Setelah terhubung, *remote control* disambungkan ke *smartphone* melalui kabel USB yang secara otomatis memicu aplikasi *SJ F PRO* untuk terbuka. Aplikasi ini berfungsi sebagai tampilan langsung sudut pandang orang pertama (*First Person View* = FPV) yang menampilkan video secara *real-time* dari kamera *drone* ke layar *smartphone* sehingga pengguna dapat memantau secara langsung dari sudut pandang *drone* saat terbang. Diagram alir perancangan perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Bagan alir perancangan *hardware*

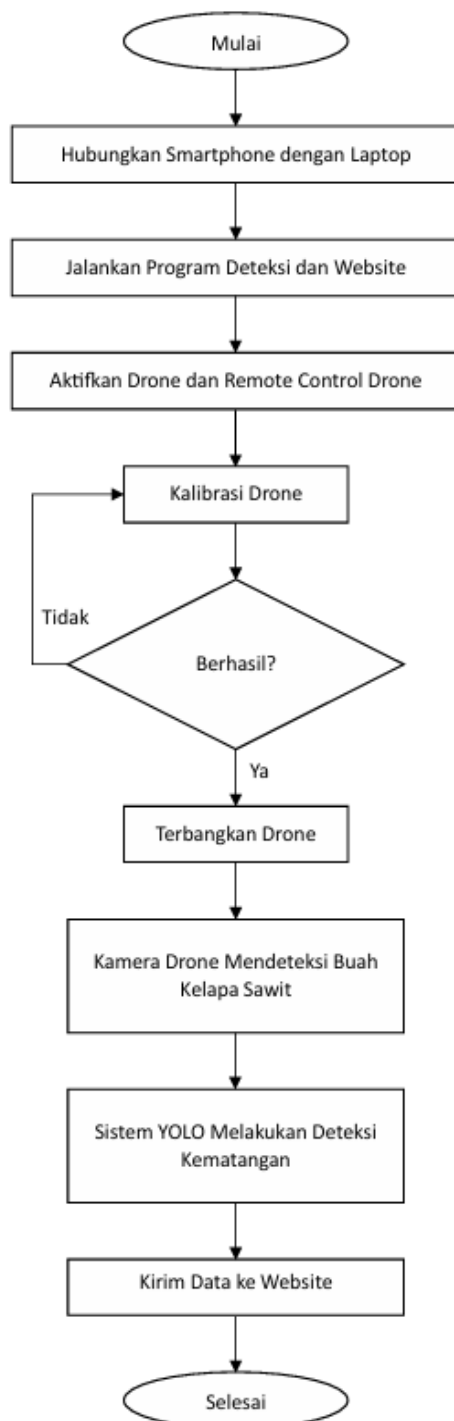
Selain sebagai tampilan FPV, aplikasi *SJ F PRO* juga memungkinkan pengguna mengatur parameter penerbangan seperti ketinggian, jarak maksimum, serta melakukan kalibrasi kompas. Fitur ini penting untuk menjaga kestabilan dan keamanan *drone* saat beroperasi di lapangan. Selama proses pengambilan data, kamera *drone* merekam kondisi tandan buah kelapa sawit dari ketinggian tertentu. Citra yang terekam ditampilkan secara langsung pada layar *smartphone*, sehingga operator dapat memantau kondisi buah secara *real-time* dan menentukan waktu yang tepat untuk mengambil citra. Proses ini merupakan bagian penting dalam integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem deteksi kematangan buah sawit berbasis AI dan IoT.

2.3.4 Pengujian alat

Tahap pengujian diawali dengan kalibrasi *drone* untuk memastikan stabilitas selama penerbangan. Kalibrasi kompas dilakukan agar *drone* dapat membaca arah, posisi, dan pergerakan secara tepat. Tanpa proses ini, *drone* berisiko mengalami misorientasi, kehilangan kendali, atau terbang tidak stabil. Kalibrasi juga perlu diulang jika lokasi pengoperasian berubah jauh dari lokasi sebelumnya, karena perbedaan medan magnet bumi dapat memengaruhi sensor. Pengujian sistem dilakukan dalam berbagai skenario untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai spesifikasi. Tahap ini bertujuan untuk menjamin keandalan dan akurasi sistem deteksi sesuai dengan tujuan penelitian.

2.3.5 Bagan alir sistem kerja alat

Bagan alir ini terdiri atas beberapa tahapan, sebagaimana digambarkan pada gambar alir seperti Gambar 6.



Gambar 6. Bagan alir sistem kerja alat

Proses awal dimulai dengan menghubungkan *smartphone* dan laptop melalui aplikasi *LetsView* menggunakan metode *screen mirroring*. Setelah kedua perangkat terhubung, program deteksi kematangan dan program *website* dijalankan untuk

menampilkan data hasil deteksi. Selanjutnya, *drone* dan *remote control* dinyalakan dan dihubungkan hingga terkoneksi. Setelah itu, *remote control* dihubungkan ke smartphone yang tampil di layar laptop melalui kabel USB bawaan pada perangkat *remote*.

Setelah seluruh perangkat berhasil terhubung, proses dilanjutkan dengan kalibrasi *drone*. Jika kalibrasi berhasil, *drone* siap diterbangkan. Saat kamera *drone* menangkap citra tandan buah kelapa sawit, sistem deteksi pada laptop akan secara otomatis mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tingkat kematangan buah. Hasil deteksi kemudian dikirimkan dan ditampilkan secara *real-time* melalui *platform website* yang telah disiapkan.