

**IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN ASET CERDAS
BERBASIS NIRKABEL DI HANGGAR
PENDIDIKAN PENERBANGAN**

TESIS

Oleh
Siti Ayu Lestari
7312411003

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Terapan Program Studi Teknik Komputer



**PROGRAM STUDI
MAGISTER TERAPAN TEKNIK KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI BATAM
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN ASET CERDAS BERBASIS NIRKABEL DI HANGGAR PENDIDIKAN PENERBANGAN

Oleh:

SITI AYU LESTARI

NIM: 7312411003

Telah diuji dan dipertahankan di depan Tim Penguji
dalam Sidang Akhir Tesis
pada tanggal 28 Juli 2026

Dan dinyatakan **LULUS**

polibatam

Batam, 13 Agustus 2026

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing Utama,



Andy Triwinarko, ST, M.T., Ph.D.

NIP: 197910072012121001

Pembimbing Pendamping,



Metta Santiputri, S.T., M.Sc, Ph.D

NIP: 197707202012122004

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN ASET CERDAS BERBASIS NIRKABEL DI HANGGAR PENDIDIKAN PENERBANGAN

Oleh

SITI AYU LESTARI

NIM: 7312411003

(Program Studi Magister Teknik Komputer)

Pengelolaan inventaris alat masih banyak dilakukan secara manual sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan pencatatan, kehilangan alat, serta kesulitan dalam memantau status inventaris secara *real-time*. Permasalahan tersebut mendorong perlunya sistem yang mampu mengotomatisasi proses peminjaman dan pengembalian alat secara lebih efektif dan terintegrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *Smart Tool Management System* berbasis *Computer Vision* dan *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung pengelolaan inventaris alat secara otomatis. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) untuk autentikasi pengguna, model YOLO11n untuk mendeteksi perubahan kondisi alat pada drawer penyimpanan, SQLite sebagai basis data lokal, MQTT sebagai protokol komunikasi data, serta *Home Assistant* sebagai dashboard monitoring. Proses transaksi dimulai dengan autentikasi RFID, dilanjutkan dengan deteksi alat menggunakan kamera dan model YOLO11n, kemudian dilakukan verifikasi manual sebelum data transaksi disimpan ke basis data dan ditampilkan pada dashboard secara *real-time*. Hasil evaluasi model menunjukkan bahwa YOLO11n memperoleh nilai *Precision* sebesar 84,3%, *Recall* sebesar 87,7%, *F1-Score* sebesar 86,0%, dan *mAP@50* sebesar 92,1%. Hasil pengujian *Black Box* menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang. Selain itu, hasil *User Acceptance Testing* (UAT) yang melibatkan 10 responden memperoleh nilai sebesar 82,8% dengan kategori Sangat Baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat secara lebih terstruktur, meningkatkan akurasi pencatatan inventaris, serta menyediakan informasi status alat secara *real-time*.

Kata kunci: *Smart Tool Management System*, YOLO11n, RFID, *Tool Inventory Management*, MQTT, *Home Assistant*.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF A WIRELESS-BASED SMART ASSET MANAGEMENT SYSTEM IN AN AVIATION TRAINING HANGAR

By

SITI AYU LESTARI

NIM: 7312411003

(Master's Program in Computer Engineering)

Tool inventory management is still commonly performed manually, which may lead to recording errors, tool loss, and difficulties in monitoring inventory status in real time. These challenges highlight the need for a system capable of automating the tool borrowing and returning process in a more effective and integrated manner. Therefore, this study aims to develop a Smart Tool Management System based on Computer Vision and the Internet of Things (IoT) to support automated tool inventory management.

The proposed system integrates Radio Frequency Identification (RFID) technology for user authentication, the YOLO11n model for detecting changes in tool conditions within storage drawers, SQLite as a local database, MQTT as a data communication protocol, and Home Assistant as a monitoring dashboard. The transaction process begins with RFID-based user authentication, followed by tool detection using a camera and the YOLO11n model. A manual verification stage is then performed before transaction data are stored in the database and displayed on the dashboard in real time.

The evaluation results indicate that the YOLO11n model achieved a Precision of 84.3%, Recall of 87.7%, F1-Score of 86.0%, and mAP@50 of 92.1%. The results of Black Box Testing demonstrate that all system functions operate according to the specified requirements. Furthermore, the User Acceptance Testing (UAT) conducted with ten respondents achieved a score of 82.8%, which falls into the Very Good category. The findings show that the developed system is capable of supporting a more structured tool borrowing and returning process, improving inventory recording accuracy, and providing real-time information regarding tool status.

Keywords: Smart Tool Management System, YOLO11n, RFID, Tool Inventory Management, MQTT, Home Assistant.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Manajemen Aset.....	9
2.2 <i>Tool Accountability</i>	9
2.3 <i>Smart Tool Management System</i>	10
2.4 <i>Internet of Things (IoT)</i>	10
2.5 <i>Radio Frequency Identification (RFID)</i>	11
2.6 <i>Computer Vision</i>	11
2.7 <i>You Only Look Once (YOLO11)</i>	12
2.8 <i>Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)</i>	12
2.9 <i>Home Assistant</i>	13
2.10 <i>Database Management System</i>	14
2.11 <i>User Acceptance Testing (UAT)</i>	14
2.12 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Metodologi Penelitian	17
3.2 <i>Requirement Analysis</i>	18
3.2.1 Observasi Lapangan.....	18
3.2.2 Analisis Proses Bisnis <i>Existing</i>	18
3.2.3 Kebutuhan Fungsional	23
3.2.3 Kebutuhan Fungsional	23

3.3 Metode Pengembangan Sistem.....	24
3.3.1 Analisis Kebutuhan	24
3.3.2 Perancangan Sistem.....	24
3.3.3 Pengembangan <i>Prototype</i>	24
3.3.4 Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem.....	24
3.3.5 Implementasi Sistem Final	25
3.4 Perancangan Sistem.....	25
3.4.1 <i>Flowchart</i> Proses Sistem	25
3.4.2 <i>Use Case</i> Diagram.....	27
3.4.3 Arsitektur Sistem.....	27
3.4.4 Perancangan Basis Data	28
3.4.4.1 Data Pengguna (<i>Users</i>)	29
3.4.4.2 Data Inventaris Alat (<i>Tools</i>).....	29
3.4.4.3 Data Transaksi	29
3.4.4.4 Mekanisme Penyimpanan Data.....	30
3.4.5 Perancangan Antarmuka	30
3.4.5.1 Halaman Katalog Alat dan Pemilihan <i>Drawer</i>	30
3.4.5.2 Halaman Transaksi Peminjaman dan Pengembalian.....	30
3.5 Perancangan Dataset dan Model Deteksi Objek	31
3.5.1 Akuisisi Dataset.....	31
3.5.2 Pelabelan Dataset	32
3.5.3 Pembagian Dataset	33
3.5.4 Pemilihan Model YOLO11n	34
3.5.5 Parameter Pelatihan Model	34
3.5.6 Perancangan Evaluasi Model	35
3.6 Perancangan Pengujian Sistem.....	37
3.6.1 Pengujian Model Deteksi Objek.....	37
3.6.2 Pengujian Fungsional Sistem (<i>Black Box Testing</i>).....	37
3.6.3 Pengujian <i>User Acceptance Testing</i> (UAT)	38
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Implementasi Sistem	40
4.1.1 Implementasi Katalog Alat dan Pemilihan <i>Drawer</i>	40
4.1.2 Implementasi Autentikasi RFID.....	41
4.1.3 Implementasi Transaksi Peminjaman dan Pengembalian	42

4.1.4 Tampilan Popup Interaksi Pengguna pada Sistem.....	42
4.1.5 Implementasi Deteksi Objek Menggunakan YOLO11n.....	44
4.1.6 Implementasi Verifikasi Manual	44
4.1.7 Implementasi Basis Data SQLite.....	45
4.1.8 Penyimpanan Data Transaksi	45
4.1.9 Implementasi MQTT dan <i>Home Assistant</i>	46
4.2 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model.....	46
4.2.1 Hasil Evaluasi Model YOLO11n.....	47
4.2.2 Hasil Pelatihan Model.....	48
4.2.3 Perbandingan YOLO11n dan YOLO26n	49
4.3 Pengujian Sistem	51
4.3.1 <i>Black Box Testing</i>	51
4.3.2 <i>User Acceptance Testing</i> (UAT)	53
BAB V. PENUTUP.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Keterbatasan Penelitian	56
5.3 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Komunikasi MQTT Menggunakan Model <i>Publish-Subscribe</i>	13
Gambar 3.1 Model Pengembangan <i>Waterfall</i>	17
Gambar 3.2 Proses Bisnis	19
Gambar 3.3 <i>Checklist</i> Inventaris.....	19
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Proses Sistem.....	26
Gambar 3.5 <i>Use Case</i> Diagram	27
Gambar 3.6 Arsitektur Sistem.....	28
Gambar 3.7 Perancangan Dashboard.....	30
Gambar 3.9 Pelabelan Dataset	32
Gambar 4.1 Implementasi Perangkat Keras <i>Smart Tool Management System</i>	40
Gambar 4.2 Halaman Katalog Alat dan Pemilihan <i>Drawer</i>	41
Gambar 4.3 Implementasi RFID Autentikasi	41
Gambar 4.4 Halaman Transaksi.....	42
Gambar 4.5 Popup Peringatan Sebelum Autentikasi RFID.....	42
Gambar 4.6 Popup Penyelesaian Transaksi	43
Gambar 4.7 Popup Penyelesaian Transaksi	43
Gambar 4.8 Hasil Deteksi YOLO11n.....	44
Gambar 4.9 Halaman Verifikasi Manual	44
Gambar 4.10 Struktur Database	45
Gambar 4.11 Ekspor Data Transaksi	46
Gambar 4.12 <i>Dashboard Home Assistant</i>	46
Gambar 4.13 Hasil Pelatihan Model dari <i>Framework Ultralytics</i>	48
Gambar 4.14 Hasil Deteksi Model YOLO11 Nano	49
Gambar 4.15 Hasil Evaluasi Model YOLO26n Menggunakan Roboflow	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	20
Tabel 3.2 <i>Work Breakdown Structure</i> (WBS)	21
Tabel 3.3 Kebutuhan Fungsional	23
Tabel 3.4 Kebutuhan Non-Fungsional	23
Tabel 3.5 Struktur Data Pengguna <i>Users</i>	29
Tabel 3.6 Struktur Data Inventaris Alat <i>Tools</i>	29
Tabel 3.7 Struktur <i>Transaction</i>	29
Tabel 3.8 Distribusi Alat pada Setiap <i>Drawer</i>	31
Tabel 3.9 Distribusi Gambar berdasarkan <i>Drawer</i>	32
Tabel 3.10 Konfigurasi <i>Preprocessing</i> dan <i>Augmentasi</i>	33
Tabel 3.11 Konfigurasi Model Latih	33
Tabel 3.12 Parameter Pelatihan Model	34
Tabel 3.13 Parameter Performa Model	35
Tabel 3.14 Rancangan Pengujian <i>Black Box</i>	37
Tabel 3.15 Pernyataan <i>User Acceptance Testing</i> (UAT)	38
Tabel 3.16 Skala Penilaian UAT	39
Tabel 3.17 Kriteria Interpretasi UAT	39
Tabel 4.1 Hasil Evaluasi Model YOLOV11n	47
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Evaluasi Model YOLO11 Nano dan YOLO26 Nano	50
Tabel 4.3 Pengujian <i>Black Box</i>	51
Tabel 4.4 Hasil Rekapitulasi UAT	53

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendidikan vokasi merupakan sistem pendidikan yang menitikberatkan pada penguasaan kompetensi praktis sesuai dengan kebutuhan dunia industri [1]. Dalam bidang pendidikan penerbangan, proses pembelajaran tidak hanya berfokus pada penguasaan teori, tetapi juga menuntut mahasiswa untuk mampu melaksanakan kegiatan inspeksi, perawatan, dan perbaikan pesawat udara secara langsung di hanggar menggunakan berbagai peralatan mekanik. Oleh karena itu, ketersediaan dan pengelolaan peralatan praktik menjadi salah satu faktor penting yang mendukung keberhasilan proses pembelajaran sekaligus penerapan budaya keselamatan (*safety culture*) di lingkungan hanggar pendidikan [2].

Pengelolaan aset merupakan bagian penting dalam menjamin bahwa seluruh peralatan praktik tersedia, terdokumentasi, dan dapat digunakan sesuai kebutuhan operasional. Menurut ISO 55000, manajemen aset merupakan serangkaian aktivitas terkoordinasi yang dilakukan organisasi untuk memperoleh nilai dari aset yang dimiliki melalui pengelolaan yang efektif sepanjang siklus hidup aset. Dalam lingkungan pendidikan penerbangan, penerapan manajemen aset tidak hanya bertujuan menjaga ketersediaan alat praktik, tetapi juga memastikan setiap alat dapat ditelusuri penggunaannya (*traceability*), sehingga proses pembelajaran dapat berlangsung secara tertib, efisien, dan sesuai dengan prosedur operasional yang berlaku [3].

Salah satu aspek penting dalam kegiatan perawatan pesawat adalah *tool accountability*, yaitu kemampuan untuk memastikan setiap alat yang digunakan dapat dipertanggungjawabkan keberadaannya sebelum, selama, dan setelah proses perawatan dilakukan [4]. Penerapan *tool accountability* merupakan bagian dari upaya meminimalkan risiko *Foreign Object Debris* (FOD), yaitu benda asing yang tertinggal pada area kerja maupun pesawat sehingga berpotensi mengganggu keselamatan penerbangan [5]. *Federal Aviation Administration* (FAA) menyatakan bahwa insiden FOD menimbulkan kerugian hingga miliaran dolar setiap tahun dalam industri penerbangan global, yang menunjukkan betapa krusial pengelolaan dan pengawasan peralatan dalam setiap kegiatan perawatan pesawat [6]. Penelitian ini berfokus pada implementasi sistem manajemen aset untuk meningkatkan deteksi penggunaan alat. Dengan demikian, penelitian ini mendukung penerapan prinsip *tool accountability* sebagai salah satu upaya dalam mendukung pengendalian risiko FOD pada lingkungan hanggar Pendidikan [7].

Kondisi ini semakin menegaskan pentingnya sistem pengelolaan peralatan yang terstruktur, terutama dalam pelaksanaan praktik di hanggar pendidikan. Mahasiswa memperoleh pengalaman langsung melalui keterlibatan dalam aktivitas perawatan pesawat menggunakan peralatan mekanik (*tools*), seperti kunci pas, obeng, dan alat ukur, yang berperan penting dalam mendukung pemeliharaan serta menjamin kesiapan operasional pesawat latih. Berdasarkan hasil observasi di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam, terdapat 141 alat praktik yang tersimpan pada lima *drawer tool storage system* merek Facom. Peralatan tersebut dikelola melalui mekanisme peminjaman yang melibatkan *Captain Course*, yaitu mahasiswa yang bertugas mengoordinasikan kegiatan praktik pada setiap sesi, serta *storeman* yang bertanggung jawab atas penyimpanan, pendistribusian, dan pencatatan peralatan. Hingga saat ini, proses peminjaman dan pengembalian alat masih dilakukan secara manual melalui pengisian borang serta pemeriksaan checklist kelengkapan alat sebelum dan sesudah kegiatan praktik berlangsung.

Secara umum, proses bisnis peminjaman alat praktik berlangsung melalui beberapa tahapan, yaitu *Captain Course* mengisi borang peminjaman, borang tersebut kemudian diverifikasi oleh *storeman*, dilanjutkan dengan pemeriksaan *checklist* kelengkapan alat, pelaksanaan praktik di hanggar, hingga pemeriksaan *checklist* kembali pada saat pengembalian alat. Proses pengelolaan aset secara manual tersebut memiliki beberapa keterbatasan. Pemeriksaan kelengkapan alat harus dilakukan satu per satu sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama, terutama ketika jumlah alat yang digunakan dalam kegiatan praktik cukup banyak. Selain itu, proses pencatatan secara manual berpotensi menimbulkan *human error*, seperti kesalahan pencatatan identitas peminjam, kesalahan pencatatan alat yang dipinjam, maupun ketidaksesuaian antara data administrasi dengan kondisi aktual di lapangan. Kondisi tersebut juga menyebabkan proses penelusuran riwayat penggunaan alat menjadi kurang efektif apabila terjadi ketidaksesuaian pada saat pemeriksaan [8].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT), *Artificial Intelligence* (AI), serta komunikasi nirkabel memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan aset melalui proses digitalisasi. Teknologi RFID memungkinkan proses identifikasi pengguna dilakukan secara otomatis tanpa pencatatan manual [9], sedangkan teknologi *computer vision* memungkinkan sistem mengenali keberadaan alat melalui citra digital [10]. Selain itu, komunikasi data melalui jaringan nirkabel memungkinkan informasi mengenai status

alat dan aktivitas pengguna dikirimkan secara *real-time* sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara lebih efektif [11].

Salah satu metode *computer vision* yang banyak digunakan untuk deteksi objek secara *real-time* adalah *You Only Look Once* (YOLO). Metode ini menerapkan pendekatan *single-stage object detection* sehingga mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai objek dalam satu kali proses inferensi dengan keseimbangan yang baik antara kecepatan, akurasi, dan efisiensi komputasi. Karakteristik tersebut menjadikan YOLO sesuai untuk diimplementasikan pada perangkat *edge computing* yang memiliki keterbatasan sumber daya komputasi namun tetap memerlukan kinerja *real-time*. Pada penelitian ini digunakan model YOLO11n karena memiliki ukuran model yang relatif ringan, kebutuhan komputasi yang rendah, serta mampu memberikan performa deteksi yang baik pada perangkat Raspberry Pi 5 sehingga sesuai untuk kebutuhan monitoring alat praktik secara *real-time* [12]. Namun demikian, penelitian ini tidak berfokus pada pengembangan algoritma deteksi objek, melainkan pada implementasi sistem manajemen aset yang mengintegrasikan proses autentikasi pengguna, deteksi alat, pencatatan transaksi, dan *monitoring* sistem secara terpadu.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan *Smart Tool Management System* berbasis komunikasi nirkabel yang mengintegrasikan beberapa subsistem, yaitu autentikasi pengguna menggunakan RFID Reader USB, deteksi alat menggunakan model YOLO11n, pengelolaan transaksi menggunakan SQLite, komunikasi data menggunakan MQTT, antarmuka pengguna berbasis Python (*Tkinter*), serta *dashboard monitoring* menggunakan *Home Assistant*. Seluruh subsistem dijalankan pada Raspberry Pi 5 sebagai perangkat *edge computing*, sehingga proses autentikasi, deteksi alat, pencatatan transaksi, dan *monitoring* dapat dilakukan secara terintegrasi dalam satu perangkat.

Untuk mendukung proses identifikasi alat yang lebih terstruktur, sistem yang dikembangkan juga menyediakan katalog alat berdasarkan *drawer*. Melalui fitur tersebut, pengguna dapat melihat daftar alat yang tersedia pada setiap *drawer* sebelum melakukan proses peminjaman. Informasi katalog ini membantu pengguna dalam menentukan *drawer* yang akan digunakan serta memberikan gambaran awal mengenai ketersediaan alat yang tersimpan pada masing-masing *drawer*. Dengan demikian, proses peminjaman dapat dilakukan secara lebih terarah dan terdokumentasi sejak sebelum transaksi dimulai. Selain menampilkan daftar alat pada setiap *drawer*, sistem juga menyediakan informasi jumlah

alat yang sedang berstatus dipinjam sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi ketersediaan alat sebelum melakukan transaksi.

Proses peminjaman diawali dengan autentikasi menggunakan kartu RFID, kemudian pengguna memulai transaksi melalui aplikasi (*Start Transaction*). Selama transaksi berlangsung, sistem melakukan deteksi kondisi alat menggunakan model YOLO11n dan mencatat aktivitas peminjaman maupun pengembalian secara otomatis ke dalam basis data SQLite. Selanjutnya, informasi transaksi dikirim melalui protokol MQTT untuk ditampilkan secara *real-time* pada dashboard *Home Assistant* yang menampilkan status transaksi, jumlah alat, status ketersediaan alat (*Available* atau *Borrowed*), *live stream* kamera, serta log aktivitas sistem. Pendekatan tersebut menghasilkan sistem yang mampu meningkatkan kemampuan penelusuran (*traceability*) penggunaan alat serta mempercepat proses administrasi yang dilakukan oleh *Captain Course* dan *storeman*.

Basis data SQLite pada sistem ini tidak hanya digunakan sebagai media penyimpanan transaksi, tetapi juga berfungsi untuk menyimpan identitas alat, status ketersediaan alat, histori peminjaman dan pengembalian, serta data pengguna yang terintegrasi dengan proses autentikasi RFID. Melalui penyimpanan data yang terstruktur tersebut, sistem mampu menyediakan informasi penggunaan alat secara historis sehingga proses penelusuran alat (*traceability*) dapat dilakukan dengan lebih mudah dan akurat.

Meskipun sistem memanfaatkan teknologi *computer vision* untuk mendeteksi keberadaan alat secara otomatis, hasil deteksi tersebut tetap dapat diverifikasi secara manual oleh *Captain Course* sebelum transaksi diselesaikan. Mekanisme verifikasi ini diterapkan untuk mengantisipasi kemungkinan kesalahan deteksi akibat pencahayaan, sudut pengambilan gambar, objek yang saling menutupi (*occlusion*), maupun keterbatasan model deteksi objek. Pada tahap akhir transaksi, sistem menampilkan hasil deteksi alat yang masih berstatus *borrowed* sehingga pengguna dapat melakukan konfirmasi jumlah alat yang benar-benar dipinjam sesuai kondisi aktual di lapangan. Pendekatan ini meningkatkan keandalan data transaksi dan memastikan informasi yang tersimpan pada basis data tetap sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Pada penelitian ini, komunikasi antar subsistem dilakukan melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT, sehingga data hasil autentikasi RFID, status deteksi alat, dan informasi transaksi dapat dikirimkan secara *real-time* dari Raspberry Pi menuju dashboard *Home Assistant* tanpa menggunakan koneksi kabel. Pendekatan tersebut menjadi dasar penggunaan istilah berbasis nirkabel pada penelitian ini.

Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini disebut sebagai sistem manajemen aset cerdas karena mampu melakukan autentikasi pengguna secara otomatis, mendeteksi keberadaan dan kondisi alat menggunakan teknologi *computer vision*, mencatat transaksi peminjaman dan pengembalian tanpa pencatatan manual, serta menyediakan monitoring deteksi alat secara *real-time* melalui *dashboard*. Kemampuan tersebut menjadikan sistem ini selanjutnya disebut sebagai *Smart Tool Management System*, yaitu sebuah sistem terintegrasi yang dirancang untuk mendukung pengelolaan peralatan praktik secara otomatis, akurat, dan *real-time* di lingkungan hanggar pendidikan.

Kontribusi penelitian ini terletak pada implementasi sistem manajemen aset cerdas yang mengintegrasikan autentikasi RFID, *computer vision* berbasis YOLO11n, basis data transaksi, komunikasi MQTT, dan *dashboard monitoring real-time* dalam satu platform terintegrasi berbasis Raspberry Pi 5. Selain itu, penelitian ini mengimplementasikan mekanisme verifikasi manual pada tahap akhir transaksi untuk meningkatkan keandalan pencatatan aset ketika terjadi ketidaksesuaian hasil deteksi otomatis. Pendekatan tersebut memberikan kontribusi praktis terhadap pengembangan sistem manajemen aset pada lingkungan pendidikan vokasi maupun industri yang membutuhkan proses deteksi alat secara *real-time* dan terdokumentasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengimplementasikan sistem manajemen aset cerdas berbasis komunikasi nirkabel yang mengintegrasikan teknologi RFID, *computer vision* berbasis YOLO11n, MQTT, SQLite, Raspberry Pi 5, dan *Home Assistant* untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Pendidikan Penerbangan. Implementasi sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan aset, mengurangi potensi *human error*, menyediakan informasi penggunaan alat secara *real-time*, serta mendukung penerapan pengelolaan aset yang lebih tertib, terdokumentasi, dan sesuai dengan kebutuhan operasional hanggar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan *Smart Tool Management System* berbasis komunikasi nirkabel untuk mengelola proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Pendidikan Penerbangan?

2. Bagaimana mengevaluasi kinerja *Smart Tool Management System* berdasarkan pengujian model deteksi objek dan pengujian fungsionalitas sistem, dan *User Acceptance Testing* (UAT)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan *Smart Tool Management System* berbasis komunikasi nirkabel yang mengintegrasikan autentikasi RFID, deteksi alat menggunakan YOLO11n, basis data SQLite, komunikasi MQTT, dan *dashboard monitoring* secara *real-time*.
2. Mengevaluasi kinerja *Smart Tool Management System* berdasarkan hasil pengujian model deteksi objek, pengujian fungsionalitas sistem, dan *User Acceptance Testing* (UAT).

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang manajemen aset cerdas, *computer vision*, *Internet of Things* (IoT), dan sistem informasi terintegrasi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang mengembangkan sistem pengelolaan aset berbasis RFID dan deteksi objek.

2. Manfaat Praktis

- a. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan alat praktik melalui sistem peminjaman dan pengembalian yang terdokumentasi secara otomatis serta mampu menyediakan informasi kondisi alat secara *real-time*.
- b. Penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pengembangan *Smart Tool Management System* berbasis *computer vision*, RFID, dan komunikasi nirkabel dengan ruang lingkup maupun metode yang lebih luas.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem manajemen aset cerdas berbasis nirkabel di hanggar pendidikan penerbangan. Adapun batasan penelitian yang diterapkan agar ruang lingkup tetap terarah dan tidak meluas, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam.
2. Sistem difokuskan pada pengelolaan proses peminjaman dan pengembalian 141 alat praktik yang tersimpan pada lima *drawer tool storage system* merek Facom.
3. Sistem mengintegrasikan autentikasi pengguna menggunakan RFID, deteksi alat berbasis *computer vision*, komunikasi MQTT, basis data SQLite, serta *dashboard monitoring* berbasis *Home Assistant*.
4. Model deteksi objek yang digunakan adalah YOLO11n dengan total 56 kelas objek yang merepresentasikan alat praktik pada lima *drawer*.
5. Penelitian berfokus pada implementasi *Smart Tool Management System* dan tidak membahas pengembangan algoritma deteksi objek secara mendalam.
6. Sistem belum mengimplementasikan mekanisme penguncian otomatis (*solenoid lock*) pada *drawer*.
7. Hasil deteksi otomatis dapat diverifikasi secara manual oleh pengguna sebelum transaksi diselesaikan.
8. Pengujian dilakukan terhadap model deteksi objek, fungsionalitas sistem (*Black Box Testing*), dan tingkat penerimaan pengguna melalui *User Acceptance Testing* (UAT).

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan yang menjadi dasar dan kerangka penelitian.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep manajemen aset, *tool accountability*, komunikasi nirkabel, *Internet of Things* (IoT), RFID, *computer vision*, YOLO11, MQTT, Raspberry Pi, *Home Assistant*, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian, metode pengembangan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, arsitektur sistem, perancangan basis data, diagram sistem, serta metode pengujian yang digunakan.

4. BAB IV IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

Bab ini membahas implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi seluruh subsistem, implementasi *Smart Tool Management System*, serta hasil pengujian model deteksi objek dan pengujian fungsionalitas sistem.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Aset

Manajemen aset (*asset management*) merupakan serangkaian aktivitas terkoordinasi yang dilakukan organisasi untuk memperoleh nilai dari aset melalui pengelolaan yang efektif sepanjang siklus hidupnya. Berdasarkan ISO 55000:2024, manajemen aset mencakup prinsip, kerangka kerja, dan terminologi yang digunakan untuk memastikan aset mampu mendukung pencapaian tujuan organisasi dengan mempertimbangkan aspek kinerja, risiko, biaya, serta keberlanjutan. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada inventarisasi aset, tetapi juga pada proses perencanaan, pengoperasian, pemeliharaan, evaluasi, dan peningkatan pengelolaan aset secara berkelanjutan [13]. Tingginya keragaman aktivitas praktik di hanggar pendidikan mendorong perlunya sistem pengelolaan aset yang efektif dan efisien untuk mendukung kelancaran proses pembelajaran.

Pengelolaan aset yang baik memungkinkan institusi menjaga ketersediaan peralatan praktik, memperpanjang masa pakai aset, dan memastikan peralatan berfungsi optimal. Tujuan utama dari manajemen aset adalah mendukung efisiensi operasional, menekan biaya, serta meningkatkan keselamatan penerbangan [14].

2.2 Tool Accountability

Tool accountability merupakan konsep dalam industri penerbangan yang bertujuan memastikan setiap peralatan yang digunakan selama kegiatan perawatan dapat diketahui jumlah, kondisi, lokasi, dan status penggunaannya sebelum, selama, maupun setelah pekerjaan selesai. Penerapan *tool accountability* berperan dalam mencegah kehilangan alat (*lost tools*), meningkatkan kemudahan penelusuran (*traceability*) [15].

Salah satu tujuan utama penerapan *tool accountability* adalah meminimalkan risiko *Foreign Object Debris* (FOD). *Federal Aviation Administration* (FAA) menyatakan bahwa FOD merupakan salah satu perhatian utama dalam keselamatan penerbangan sehingga setiap organisasi perlu menerapkan program pengelolaan FOD yang mencakup kegiatan pencegahan, deteksi, penghilangan, dan evaluasi secara berkelanjutan [6].

Pada penelitian ini, konsep *tool accountability* diterapkan melalui *Smart Tool Management System* untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Pendidikan Penerbangan. Sistem memungkinkan setiap transaksi alat

terdokumentasi secara otomatis serta menyediakan informasi status alat secara *real-time*, sehingga membantu meningkatkan kemudahan penelusuran penggunaan alat dan mendukung pengelolaan aset yang lebih tertib.

2.3 Smart Tool Management System

Sistem yang mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi untuk mendukung pengelolaan alat secara otomatis, mulai dari proses identifikasi pengguna, pemantauan kondisi dan lokasi alat, pencatatan transaksi peminjaman dan pengembalian, hingga penyajian informasi secara *real-time*. Konsep ini merupakan implementasi dari *smart asset management* yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, transparansi, dan kemudahan penelusuran (*traceability*) dalam pengelolaan aset sepanjang siklus hidupnya [16].

Karakteristik utama *Smart Tool Management System* meliputi kemampuan melakukan autentikasi pengguna, pencatatan aktivitas secara otomatis, pemantauan status alat secara *real-time*, serta integrasi antarperangkat melalui komunikasi nirkabel. Integrasi tersebut memungkinkan pertukaran data secara berkelanjutan sehingga proses pengelolaan alat tidak lagi bergantung pada pencatatan manual. Dengan demikian, sistem mampu mengurangi potensi *human error*, meningkatkan efisiensi operasional, serta mendukung proses pemantauan dan pengambilan keputusan secara lebih efektif [15].

Pada penelitian ini, *Smart Tool Management System* tidak hanya menyediakan fungsi autentikasi pengguna dan pencatatan transaksi, tetapi juga menyediakan katalog alat pada setiap drawer, informasi jumlah alat yang sedang dipinjam, proses verifikasi manual oleh *Captain Course*, serta *dashboard monitoring* berbasis *Home Assistant* yang terintegrasi secara *real-time* melalui protokol MQTT.

2.4 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) menjadi pendorong utama transformasi manajemen aset di berbagai sektor. IoT menghubungkan perangkat fisik dengan jaringan internet, memungkinkan pengumpulan dan analisis data secara *real-time*. Kemampuan ini sangat mendukung pengelolaan aset yang lebih efisien dengan meningkatkan visibilitas dan kontrol terhadap aset, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik [17].

Penerapan IoT pada manajemen aset mendukung pemantauan kondisi peralatan dan pelaksanaan pemeliharaan secara prediktif. Melalui sensor dan komunikasi nirkabel, data pemakaian dapat dipantau secara langsung. Pendekatan ini tidak hanya membantu

mengurangi biaya pemeliharaan tetapi juga memperpanjang umur aset dengan mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga [18].

2.5 Radio Frequency Identification (RFID)

Teknologi identifikasi otomatis yang memanfaatkan gelombang radio untuk mentransmisikan dan menerima data antara RFID *tag* dan RFID *reader* tanpa memerlukan kontak fisik maupun garis pandang (*line of sight*). Sistem RFID umumnya terdiri atas tiga komponen utama, yaitu RFID *tag*, RFID *reader*, dan sistem pengolahan data (*backend system*). Teknologi ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti identifikasi, pelacakan aset (*asset tracking*), manajemen inventaris, serta pengendalian akses karena mampu melakukan proses identifikasi secara cepat, akurat, dan efisien [19].

RFID memiliki keunggulan dalam meningkatkan efisiensi proses identifikasi dibandingkan metode konvensional karena data yang tersimpan pada tag dapat dibaca secara otomatis dan diintegrasikan dengan sistem informasi. Kemampuan tersebut memungkinkan proses identifikasi berlangsung lebih cepat, akurat, dan minim intervensi manusia. Oleh karena itu, teknologi RFID banyak diterapkan pada berbagai bidang, seperti manajemen inventaris, logistik, manufaktur, serta pengelolaan aset untuk mendukung proses pencatatan dan pemantauan aset secara lebih efektif [20].

2.6 Computer Vision

Computer vision merupakan salah satu cabang *Artificial Intelligence* (AI) yang memungkinkan komputer memperoleh, mengolah, menganalisis, dan memahami informasi dari citra maupun video digital. Dengan memanfaatkan algoritma *machine learning* dan *deep learning*, sistem *computer vision* mampu mengenali pola, mendeteksi serta mengidentifikasi objek, dan mengekstraksi informasi visual secara otomatis untuk mendukung proses pengambilan keputusan pada berbagai aplikasi [21].

Perkembangan *computer vision* telah mendorong penerapannya pada berbagai bidang, seperti industri manufaktur, kesehatan, transportasi, pertanian, hingga manajemen aset. Kemampuan sistem dalam mendeteksi, mengenali, dan mengidentifikasi objek secara otomatis menjadikan *computer vision* sebagai salah satu teknologi yang banyak dimanfaatkan untuk mendukung proses inspeksi, pemantauan, pengendalian kualitas, serta identifikasi objek secara *real-time* [22]. Dalam penelitian ini, *computer vision* digunakan sebagai komponen pendukung proses identifikasi alat dan bukan sebagai satu-satunya mekanisme pengambilan keputusan. Hasil deteksi objek selanjutnya diintegrasikan dengan

basis data, autentikasi RFID, serta proses verifikasi manual untuk meningkatkan keandalan sistem.

2.7 *You Only Look Once (YOLO11)*

You Only Look Once (YOLO) merupakan salah satu metode *object detection* berbasis *deep learning* yang menggunakan pendekatan *single-stage detector*. Metode ini mampu mendeteksi sekaligus mengklasifikasikan objek dalam satu kali proses inferensi menggunakan satu jaringan saraf (*neural network*). Berbeda dengan metode *two-stage detector*, seperti *Faster R-CNN*, yang melakukan pembangkitan *region proposal* dan klasifikasi objek secara terpisah, YOLO melakukan prediksi lokasi objek (*bounding box*), kelas objek, dan nilai kepercayaan (*confidence score*) secara bersamaan. Pendekatan tersebut menghasilkan proses deteksi yang lebih cepat dan efisien sehingga sesuai untuk aplikasi *real-time* maupun perangkat *edge computing* [23].

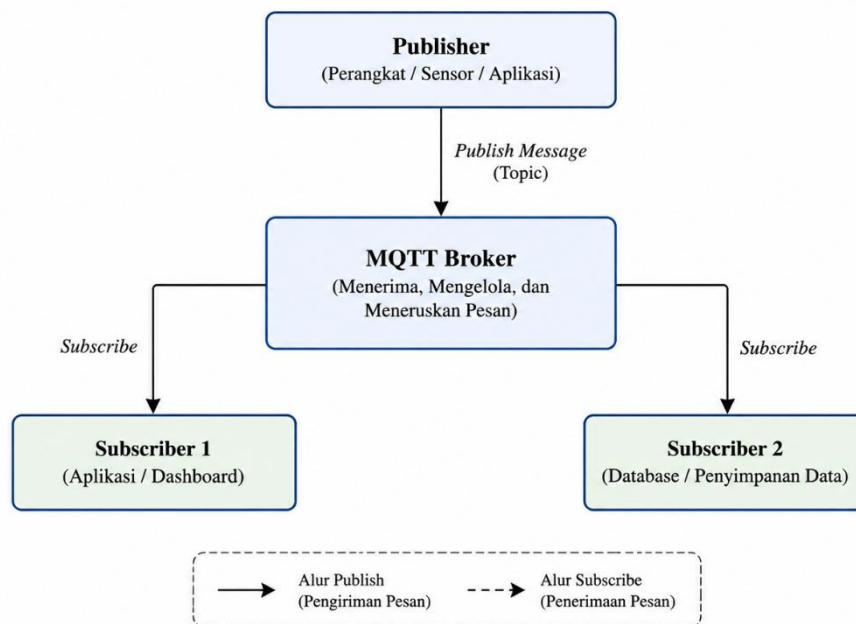
Sejak diperkenalkan oleh Redmon et al. pada tahun 2016, arsitektur YOLO terus mengalami perkembangan melalui berbagai versi, mulai dari YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOv8, YOLO11, hingga YOLO26 yang dirilis oleh *Ultralytics* pada tahun 2026. Setiap pengembangan difokuskan pada peningkatan akurasi deteksi, kecepatan inferensi, efisiensi komputasi, serta kemampuan model dalam mendukung berbagai tugas *computer vision*, seperti *object detection*, *instance segmentation*, *image classification*, dan *pose estimation* [24].

YOLO11 tersedia dalam beberapa varian, yaitu YOLO11n (*nano*), YOLO11s (*small*), YOLO11m (*medium*), YOLO11l (*large*), dan YOLO11x (*extra large*), yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan komputasi dan performa yang berbeda. Di antara varian tersebut, YOLO11n memiliki ukuran model yang paling ringan, jumlah parameter yang relatif sedikit, serta kecepatan inferensi yang tinggi sehingga sesuai untuk implementasi pada perangkat *edge computing* seperti Raspberry Pi [25]

2.8 *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan (*lightweight messaging protocol*) yang menggunakan mekanisme *publish-subscribe* untuk pertukaran data antarperangkat pada lingkungan *Internet of Things (IoT)*. MQTT dirancang agar mampu beroperasi secara efisien pada perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas dan jaringan dengan bandwidth rendah atau koneksi yang tidak stabil. Karakteristik tersebut menjadikan MQTT banyak digunakan pada berbagai aplikasi

IoT yang memerlukan komunikasi data secara *real-time* [26]. Mekanisme komunikasi MQTT ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Mekanisme Komunikasi MQTT Menggunakan Model Publish-Subscribe

Pada mekanisme *publish-subscribe*, komunikasi data dilakukan melalui sebuah *broker* yang bertugas menerima pesan dari *publisher* dan meneruskannya kepada *subscriber* berdasarkan *topic* tertentu. Pendekatan ini memungkinkan setiap perangkat saling bertukar informasi tanpa harus terhubung secara langsung, sehingga komunikasi menjadi lebih fleksibel, efisien, dan mudah dikembangkan pada sistem yang melibatkan banyak perangkat IoT [27]. Pada penelitian ini, MQTT digunakan untuk mengirimkan informasi status sesi, identitas pengguna, status alat, serta informasi drawer dari aplikasi *Smart Tool Management System* menuju *dashboard Home Assistant* secara *real-time*.

2.9 Home Assistant

Home Assistant merupakan platform *open-source* yang digunakan untuk mengintegrasikan, mengendalikan, dan memantau berbagai perangkat serta layanan berbasis *Internet of Things* (IoT). Platform ini mendukung berbagai protokol komunikasi, seperti MQTT, Zigbee, Z-Wave, Modbus, dan REST API, sehingga mampu menerima, mengolah, serta menampilkan data dari berbagai perangkat secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Fleksibilitas tersebut menjadikan *Home Assistant* banyak dimanfaatkan sebagai pusat monitoring dan otomasi pada sistem IoT [28].

Sebagai platform monitoring, *Home Assistant* menyediakan dashboard yang dapat dikustomisasi untuk menampilkan berbagai informasi, seperti status perangkat, data sensor, notifikasi, grafik historis, serta log aktivitas sistem. Integrasi dengan protokol MQTT memungkinkan *Home Assistant* menerima pembaruan data secara *real-time* dari berbagai perangkat IoT, sehingga memudahkan proses pemantauan dan pengelolaan sistem secara terpusat [29].

Pada penelitian ini, *Home Assistant* digunakan sebagai *dashboard monitoring* yang terintegrasi dengan sistem melalui protokol MQTT. Informasi yang ditampilkan meliputi identitas pengguna (*user*), peran pengguna (*role*), *drawer* yang dipilih, status sesi peminjaman, status alat, serta tampilan kamera secara *real-time*. Integrasi tersebut memungkinkan proses monitoring aset dilakukan secara lebih efektif karena seluruh informasi penting dapat diamati melalui satu antarmuka yang terpusat.

2.10 Database Management System

Database Management System (DBMS) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, memproses, dan memelihara data secara terstruktur sehingga informasi dapat diakses, diperbarui, dan dikelola dengan lebih efisien [30]. Penggunaan DBMS memungkinkan integritas data tetap terjaga serta mendukung proses pencarian dan pengolahan data secara cepat.

Pada penelitian ini digunakan SQLite sebagai basis data lokal untuk menyimpan data pengguna RFID, data alat, status alat, transaksi peminjaman dan pengembalian, serta riwayat aktivitas sistem. SQLite dipilih karena memiliki ukuran yang ringan, tidak memerlukan server terpisah, mudah diintegrasikan dengan bahasa pemrograman Python, serta sesuai untuk implementasi sistem berbasis *edge computing* dan aplikasi skala menengah.

2. 11 User Acceptance Testing (UAT)

User Acceptance Testing (UAT) merupakan metode pengujian yang dilakukan oleh pengguna akhir (*end user*) untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan pengguna dan dapat digunakan sesuai dengan tujuan operasional yang diharapkan [31]. Pengujian ini berfokus pada tingkat penerimaan pengguna terhadap fungsi, kemudahan penggunaan, dan manfaat sistem dalam mendukung aktivitas kerja.

Pada penelitian ini, UAT digunakan sebagai pelengkap pengujian *black box* untuk mengevaluasi tingkat penerimaan pengguna terhadap *Smart Tool Management System*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan kuesioner berbasis skala *Likert* yang mencakup aspek kemudahan penggunaan, tampilan sistem, kecepatan akses informasi, kemudahan *monitoring* alat, serta manfaat sistem dalam mendukung proses pengelolaan aset di hanggar pendidikan penerbangan.

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk mengetahui perkembangan penelitian yang berkaitan dengan manajemen aset, teknologi RFID, *computer vision*, *Internet of Things* (IoT), serta deteksi objek menggunakan YOLO. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menemukan celah penelitian (*research gap*) yang dapat diisi serta menetapkan kebaruan dalam konteks pengelolaan alat di hanggar pendidikan penerbangan. Berikut adalah perbandingan studi penelitian terdahulu:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Metode Penelitian	Teknologi	Hasil Penelitian	Batasan
Hehua (2021) [32]	<i>Experimental Research</i>	RFID	Mengembangkan sistem manajemen aset berbasis RFID untuk meningkatkan efisiensi pelacakan aset.	Belum menggunakan <i>computer vision</i> maupun AI.
Tavanti et al. (2025) [33]	<i>Systematic Literature Review</i>	RFID, <i>Computer Vision</i>	Menunjukkan bahwa integrasi RFID dan <i>computer vision</i> mampu meningkatkan akurasi identifikasi serta <i>traceability</i> aset.	Belum menghasilkan implementasi sistem yang terintegrasi.
Chomean et al. (2025) [34]	<i>Experimental Research</i>	Roboflow, YOLO11n	Membandingkan performa Roboflow dan YOLO11n menggunakan <i>precision</i> , <i>recall</i> , <i>F1-score</i> , dan <i>mAP</i> .	Berfokus pada klasifikasi citra medis dan belum diterapkan pada sistem manajemen aset.
Alajami & Pous (2025) [35]	<i>Experimental Research</i>	RFID, YOLO	Mengembangkan sistem inventaris robotik yang mengintegrasikan RFID dan YOLO untuk meningkatkan akurasi identifikasi aset.	Belum mendukung autentikasi pengguna maupun transaksi peminjaman aset.
Cujilema Paguay et al. (2023) [36]	<i>System Development & Experimental Testing</i>	MQTT, <i>Home Assistant</i>	Mengembangkan sistem <i>monitoring</i> berbasis MQTT dan <i>Home Assistant</i> untuk menampilkan data perangkat secara <i>real-time</i> .	Penelitian difokuskan pada <i>smart home</i> dan belum membahas manajemen aset maupun deteksi objek.
Penelitian yang Diusulkan	<i>Research and Development (R&D)</i> dengan model <i>Waterfall</i>	RFID Reader USB, YOLO11n, MQTT, SQLite, Python	Mengimplementasikan <i>Smart Tool Management System</i> berbasis RFID, YOLO11n, MQTT, dan <i>Home Assistant</i> untuk pengelolaan	Penelitian dibatasi pada implementasi sistem di Hanggar Pendidikan Penerbangan

		(Tkinter), Flask, <i>Home Assistant</i> , Raspberry Pi 5	peminjaman dan pengembalian alat secara <i>real-time</i> .	dengan objek penelitian sebanyak 141 alat praktik pada lima drawer.
--	--	--	--	--

Berdasarkan Tabel 2.1, penelitian sebelumnya telah memanfaatkan berbagai teknologi seperti RFID, *computer vision*, YOLO, MQTT, dan *Home Assistant* untuk mendukung proses identifikasi, pelacakan, maupun monitoring aset. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu atau dua komponen teknologi secara terpisah sehingga belum menghasilkan sistem yang terintegrasi.

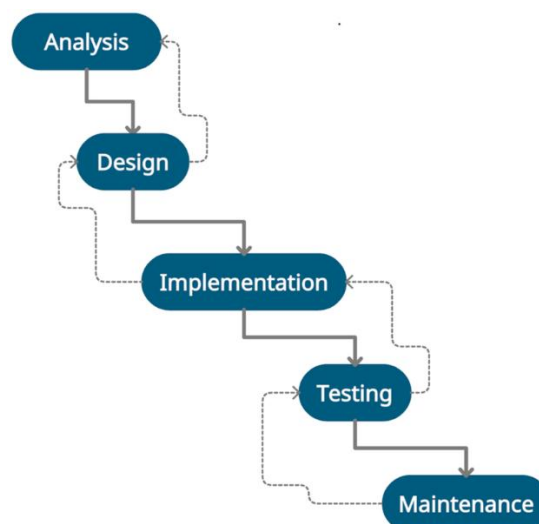
Penelitian yang diusulkan mengintegrasikan autentikasi pengguna menggunakan RFID Reader USB, deteksi alat berbasis YOLO11n, komunikasi MQTT, basis data SQLite, antarmuka pengguna berbasis Python, serta dashboard *Home Assistant* ke dalam satu *Smart Tool Management System*. Integrasi tersebut diterapkan untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Pendidikan Penerbangan secara *real-time*, sehingga diharapkan mampu meningkatkan *traceability*, efisiensi administrasi, serta monitoring aset dibandingkan penelitian sebelumnya.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan *Smart Tool Management System* berbasis komunikasi nirkabel yang mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Pendidikan Penerbangan. Pengembangan sistem dilakukan menggunakan model *Waterfall* sebagai model pengembangan perangkat lunak karena menyediakan tahapan yang sistematis dan terstruktur, meliputi *requirements analysis*, *system design*, *implementation*, *testing*, dan *maintenance*. Model ini dipilih karena kebutuhan sistem telah didefinisikan sejak awal sehingga setiap tahapan pengembangan dapat dilakukan secara berurutan dan terdokumentasi dengan baik [37].

Meskipun penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem, evaluasi terhadap sistem dilakukan menggunakan data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengujian. Evaluasi meliputi pengukuran performa model YOLO11n menggunakan metrik *precision*, *recall*, dan *mean Average Precision* (mAP), pengujian fungsional sistem menggunakan metode *Black Box Testing* dan *User Acceptance Testing* (UAT). Hasil pengujian tersebut digunakan untuk menilai tingkat keberhasilan implementasi sistem yang dikembangkan.



Gambar 3.1 Model Pengembangan *Waterfall*

Sumber: Diadaptasi dari Sommerville (2016) [38].

3.2 Requirement Analysis

Tahap *requirement analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem yang akan dikembangkan berdasarkan kondisi aktual pengelolaan alat praktik di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam. Analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi lapangan, studi dokumen inventaris alat, serta diskusi dengan pihak yang terlibat dalam proses pengelolaan alat praktik, yaitu *storeman* dan *Captain Course*.

Hasil analisis kebutuhan digunakan sebagai dasar dalam merancang *Smart Tool Management System* yang mampu mengintegrasikan teknologi RFID, *computer vision*, komunikasi nirkabel, dan basis data untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat secara lebih efektif dan terdokumentasi.

3.2.1 Observasi Lapangan

Observasi dilakukan secara langsung di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam untuk memahami alur pengelolaan alat praktik yang berjalan saat ini. Berdasarkan hasil observasi diketahui bahwa terdapat 141 alat praktik yang tersimpan pada lima *drawer tool storage system* merek *Facom*. Setiap alat digunakan dalam kegiatan praktik perawatan pesawat udara dan harus dicatat proses peminjaman maupun pengembaliannya.

Proses peminjaman dan pengembalian masih dilakukan secara manual menggunakan borang peminjaman dan *checklist* inventaris alat. *Captain Course* bertugas melakukan peminjaman alat untuk kegiatan praktik, sedangkan *storeman* bertanggung jawab melakukan verifikasi serta pencatatan inventaris. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemeriksaan alat membutuhkan waktu relatif lama serta berpotensi menimbulkan kesalahan pencatatan ketika jumlah alat yang digunakan cukup banyak.

3.2.2 Analisis Proses Bisnis Existing

Berdasarkan hasil observasi, proses bisnis yang berjalan sebelum implementasi sistem ditunjukkan pada Gambar 3.2. Alur proses dimulai ketika *Captain Course* mengajukan peminjaman alat menggunakan formulir peminjaman. Selanjutnya *storeman* melakukan verifikasi dokumen dan pemeriksaan *checklist* kelengkapan alat sebelum alat digunakan pada kegiatan praktik. Setelah kegiatan praktik selesai, seluruh alat dikembalikan dan diperiksa kembali satu per satu menggunakan *checklist* inventaris. Hasil pemeriksaan kemudian dicatat secara manual sebagai dokumentasi inventaris hanggar.



Gambar 3.2 Proses Bisnis

CHECKLIST TOOLBOX

3A

FACOM

No	Description	Part Number	QTY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
----	-------------	-------------	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

1	1.00
---	--

Gambar 3.3 Checklist Inventaris

Proses tersebut memiliki beberapa keterbatasan, antara lain membutuhkan waktu pemeriksaan yang cukup lama, ketergantungan terhadap pencatatan manual, serta kesulitan dalam melakukan pelacakan riwayat penggunaan alat secara *real-time*.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

[illegible]

Untuk mendukung pelaksanaan penelitian yang sistematis dan terarah, selanjutnya diuraikan menggunakan pendekatan *Work Breakdown Structure* (WBS). WBS merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengelompokkan, dan memecah seluruh aktivitas proyek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil serta terstruktur. Dengan pendekatan ini, setiap tahapan penelitian dapat dikelola, dipantau, dan dikendalikan secara lebih efektif sehingga pelaksanaan penelitian menjadi lebih terorganisasi dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 3.2 *Work Breakdown Structure* (WBS)

No	Tahapan Utama	Sub Tahapan / Aktivitas	Output
1.	Perencanaan & Studi Literatur	1.1 Penentuan ruang lingkup, latar belakang, dan identifikasi permasalahan penelitian	Draft awal proposal
		1.2 Studi literatur mengenai <i>Computer Vision</i> , YOLO11n, RFID, SQLite Database, MQTT, <i>Home Assistant</i> , dan <i>Smart Tool Management System</i>	Kajian Pustaka
		1.3 Observasi proses peminjaman dan pengembalian alat di Hanggar TPPU	Hasil observasi lapangan
		1.4 Perumusan tujuan, rumusan masalah, dan batasan penelitian	Draft proposal lengkap
		1.5 Penyusunan proposal	Proposal penelitian
2.	<i>Requirement Analysis</i>	2.1 Identifikasi kebutuhan pengguna (<i>Storeman</i> dan <i>Captain Course</i>).	Dokumen kebutuhan pengguna
		2.2 Analisis kebutuhan perangkat keras (kamera, Raspberry Pi, RFID Reader, RFID Card, monitor, jaringan)	Spesifikasi <i>hardware</i>
		2.3 Analisis kebutuhan perangkat lunak (Python, YOLO11, OpenCV, Flask, MQTT, Database).	Spesifikasi <i>software</i>
		2.4 Penyusunan kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem	Dokumen kebutuhan system
3.	<i>Design System</i>	3.1 Perancangan arsitektur Smart Tool Management System berbasis RFID, YOLO11n, SQLite, MQTT, dan <i>Home Assistant</i>	Diagram arsitektur sistem
		3.2 Perancangan alur kerja peminjaman dan pengembalian alat berbasis RFID dan YOLO11	<i>Flowchart</i> sistem
		3.3 Perancangan database dan struktur penyimpanan data.	Database <i>Design</i>

		3.4 Perancangan antarmuka <i>dashboard monitoring</i>	Desain UI <i>Dashboard</i>
		3.5 Perancangan posisi kamera dan area deteksi pada <i>toolbox</i>	Layout instalasi perangkat
		3.6 Perancangan katalog alat dan status inventaris	Desain katalog alat per <i>drawer</i>
		3.7 Perancangan verifikasi manual transaksi	Desain validasi transaksi
4.	<i>Implementation</i>	4.1 Pengumpulan dataset dan anotasi citra alat menggunakan Roboflow	Dataset teranotasi
		4.2 Pelatihan (<i>training</i>) model YOLO11n.	Model YOLO11n terlatih
		4.3 Implementasi sistem deteksi objek menggunakan YOLO11n pada komputer lokal.	Sistem deteksi alat
		4.4 Implementasi autentikasi pengguna menggunakan RFID	Sistem identifikasi pengguna
		4.5 Implementasi katalog alat dan status inventaris.	Halaman katalog alat
		4.6 Implementasi verifikasi manual transaksi	Modul verifikasi manual
		4.7 Integrasi Home Assistant melalui MQTT	Integrasi Home Assistant melalui MQTT
5.	<i>Testing</i>	5.1 Pengujian akurasi model menggunakan Precision, Recall, mAP@50, dan mAP@50-95	Hasil evaluasi model
		5.2 Pengujian proses peminjaman dan pengembalian alat	Log pengujian sistem
		5.3 Pengujian pencatatan identitas pengguna melalui RFID	Data transaksi pengguna
		5.4 Pengujian tampilan dashboard monitoring secara <i>real-time</i>	Dashboard berjalan dengan baik
		5.5 Analisis hasil pengujian dan evaluasi performa sistem	Grafik dan analisis hasil
		5.6 <i>User Acceptance Testing</i> (UAT)	Tingkat penerimaan pengguna
6.	<i>Maintenance</i>	6.1 Perbaikan bug, optimasi model deteksi, dan penyempurnaan <i>dashboard</i>	Sistem yang lebih stabil
7.	Dokumentasi Akhir & Publikasi	7.1 Penyusunan laporan tugas akhir/tesis.	Laporan Lengkap
		7.2 Publikasi	Artikel

3.2.3 Kebutuhan Fungsional

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, sistem yang dikembangkan harus mampu menyediakan fungsi-fungsi sebagai berikut.

Tabel 3.3 Kebutuhan Fungsional

No	Kebutuhan Fungsional
F1	Menampilkan katalog alat pada setiap <i>drawer</i>
F2	Menampilkan jumlah alat yang tersedia pada setiap <i>drawer</i>
F3	Melakukan autentikasi pengguna menggunakan RFID
F4	Mencatat identitas pengguna yang melakukan transaksi
F5	Mengaktifkan kamera saat proses transaksi berlangsung
F6	Melakukan deteksi alat menggunakan model YOLO11n
F7	Menampilkan status alat secara <i>real-time</i>
F8	Menyimpan data transaksi ke basis data
F9	Menampilkan <i>dashboard monitoring</i>
F10	Melakukan verifikasi manual apabila terdapat kesalahan hasil deteksi AI
F11	Menyimpan hasil verifikasi manual ke basis data
F12	Menampilkan riwayat transaksi peminjaman dan pengembalian

3.2.3 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan nonfungsional menjelaskan karakteristik sistem yang mendukung kinerja selama proses implementasi.

Tabel 3.4 Kebutuhan Non-Fungsional

No	Kebutuhan Non-Fungsional
NF1	Sistem berjalan pada jaringan lokal berbasis komunikasi nirkabel
NF2	Sistem mampu menampilkan informasi secara <i>real-time</i>
NF3	Sistem menggunakan database SQLite sebagai media penyimpanan
NF4	Sistem menggunakan model YOLO11n untuk deteksi objek
NF5	Sistem dapat dioperasikan melalui antarmuka grafis berbasis desktop
NF6	Sistem mampu menyimpan histori transaksi secara otomatis

3.3 Metode Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem *Prototype*. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui proses identifikasi kebutuhan pengguna, pembuatan rancangan awal, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan sistem berdasarkan hasil evaluasi. Pendekatan ini sesuai dengan karakteristik penelitian yang mengintegrasikan beberapa komponen teknologi, yaitu RFID, *computer vision* berbasis YOLO11n, komunikasi nirkabel, basis data, dan *dashboard monitoring*. Tahapan pengembangan sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.3.1 Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan sistem melalui observasi lapangan, studi dokumen inventaris alat, serta diskusi dengan pihak hanggar. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem harus mampu mendukung autentikasi pengguna menggunakan RFID, menampilkan katalog alat berdasarkan *drawer*, mendeteksi alat secara otomatis menggunakan *computer vision*, menyimpan data transaksi peminjaman dan pengembalian, serta menyediakan dashboard monitoring secara *real-time*.

3.3.2 Perancangan Sistem

Tahap perancangan dilakukan untuk menghasilkan rancangan arsitektur sistem, basis data, antarmuka pengguna, serta alur proses bisnis yang akan diimplementasikan. Pada tahap ini dirancang integrasi antara RFID *reader*, kamera, model YOLO11n, database SQLite, MQTT broker, dan *dashboard Home Assistant* sehingga seluruh komponen dapat saling berkomunikasi melalui jaringan nirkabel.

3.3.3 Pengembangan *Prototype*

Tahap pengembangan *prototype* dilakukan dengan membangun modul-modul utama sistem, meliputi modul autentikasi RFID, modul deteksi alat berbasis YOLO11n, modul manajemen database SQLite, modul komunikasi MQTT, serta *dashboard monitoring*. Setiap modul dikembangkan dan diuji secara bertahap hingga seluruh fungsi dapat berjalan sesuai kebutuhan pengguna.

3.3.4 Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem

Prototype yang telah dikembangkan selanjutnya dievaluasi melalui pengujian fungsionalitas dan pengujian performa model deteksi objek. Hasil evaluasi digunakan untuk melakukan penyempurnaan sistem, termasuk penambahan

fitur katalog alat per drawer, penyimpanan riwayat transaksi, serta mekanisme verifikasi manual untuk mengatasi kemungkinan kesalahan deteksi oleh model AI.

3.3.5 Implementasi Sistem Final

Tahap terakhir adalah implementasi sistem yang telah disempurnakan pada lingkungan hanggar. Sistem diintegrasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan sehingga mampu mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat secara *real-time* serta terdokumentasi secara otomatis.

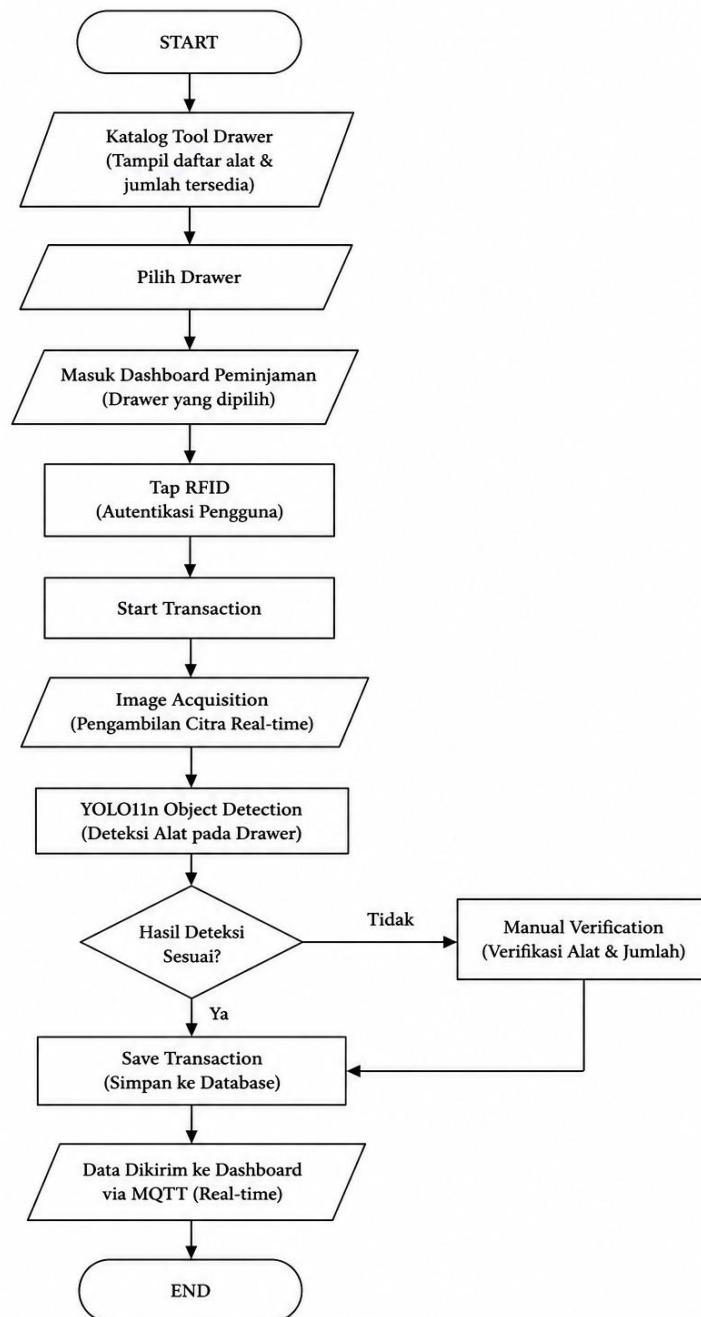
3.4 Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem dilakukan penyusunan rancangan arsitektur, alur proses bisnis, basis data, serta antarmuka pengguna yang digunakan dalam *Smart Tool Management System*. Perancangan dilakukan berdasarkan hasil *requirement analysis* sehingga seluruh kebutuhan pengguna dapat diimplementasikan pada sistem yang dikembangkan.

Perancangan sistem meliputi perancangan arsitektur sistem, *use case diagram*, *activity diagram*, basis data, serta *dashboard monitoring* yang digunakan untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik secara *real-time*.

3.4.1 Flowchart Proses Sistem

Flowchart proses sistem digunakan untuk menggambarkan tahapan operasional *Smart Tool Management System* mulai dari pengguna melihat katalog alat, memilih *drawer*, melakukan autentikasi RFID, memulai transaksi, melakukan deteksi alat menggunakan *computer vision*, hingga proses verifikasi dan penyimpanan transaksi. *Flowchart* dirancang berdasarkan alur penggunaan sistem yang telah diimplementasikan pada penelitian.

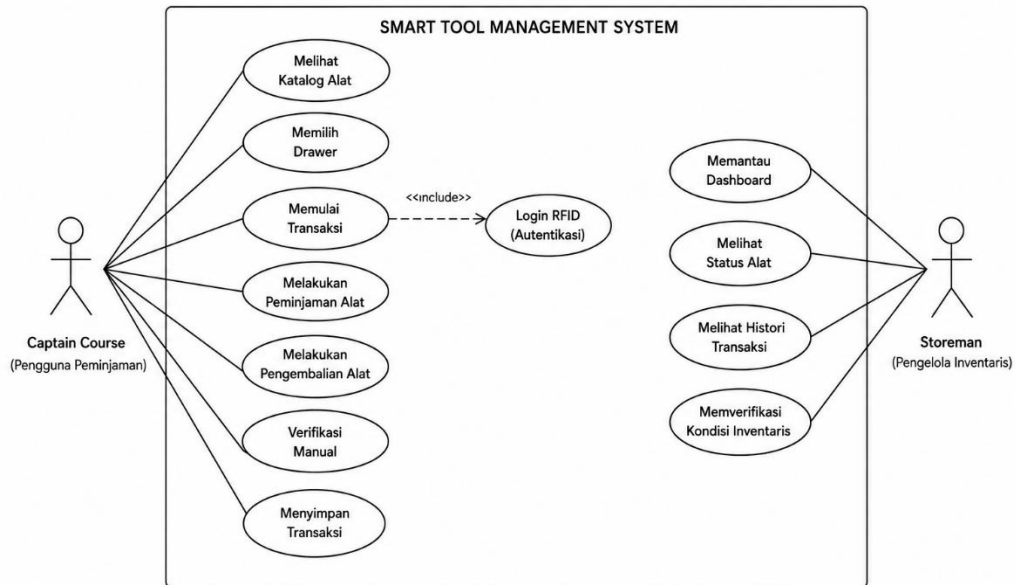


Gambar 3.4 Flowchart Proses Sistem

Berdasarkan alur tersebut, proses peminjaman pada sistem tidak berhenti pada tahap deteksi menggunakan YOLO11n. Hasil deteksi digunakan sebagai informasi awal untuk menentukan perubahan status alat, sedangkan verifikasi manual digunakan sebagai mekanisme validasi apabila hasil deteksi tidak sesuai dengan kondisi aktual. Setelah hasil akhir dikonfirmasi, sistem menyimpan transaksi ke basis data dan memperbarui informasi monitoring melalui komunikasi MQTT pada *dashboard Home Assistant*.

3.4.2 Use Case Diagram

Use Case Diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antara aktor dengan *Smart Tool Management System*. Diagram ini menunjukkan fungsi-fungsi yang dapat diakses oleh pengguna sesuai dengan peran masing-masing dalam proses pengelolaan alat praktik.



Gambar 3.5 Use Case Diagram

3.4.3 Arsitektur Sistem

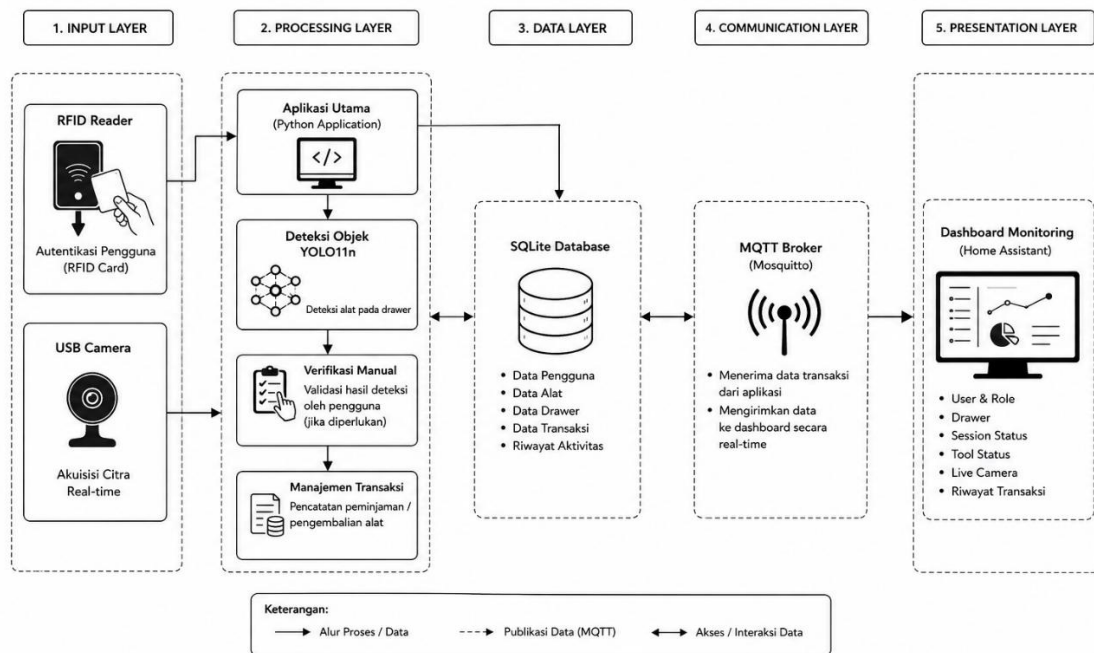
Smart Tool Management System dirancang menggunakan arsitektur terintegrasi yang menggabungkan teknologi RFID, *computer vision* berbasis YOLO11n, database SQLite, komunikasi MQTT, serta *dashboard monitoring Home Assistant*. Sistem memungkinkan proses identifikasi pengguna, deteksi alat, pencatatan transaksi, dan *monitoring* aset dilakukan secara otomatis melalui jaringan nirkabel.

Proses sistem diawali dengan pengguna memilih *drawer* yang akan digunakan. Sebelum transaksi dilakukan, pengguna dapat melihat katalog alat dan informasi jumlah alat yang tersedia pada *drawer* yang dipilih. Selanjutnya pengguna melakukan autentikasi menggunakan kartu RFID dan memulai transaksi melalui tombol *Start*.

Ketika transaksi berlangsung, kamera akan melakukan pengambilan citra secara *real-time* dan model YOLO11n melakukan deteksi terhadap alat yang berada pada *drawer*. Hasil deteksi digunakan untuk menentukan status alat yang dipinjam maupun dikembalikan. Informasi hasil deteksi kemudian dikirimkan ke database dan

dashboard monitoring melalui komunikasi MQTT sehingga dapat ditampilkan secara *real-time*.

Setelah proses peminjaman selesai, pengguna menekan tombol *Finish*. Sistem kemudian melakukan verifikasi hasil deteksi. Apabila terdapat kesalahan identifikasi alat oleh model AI, pengguna dapat melakukan verifikasi manual dengan menentukan nama alat dan jumlah alat yang sebenarnya dipinjam. Hasil verifikasi tersebut menjadi data final yang disimpan ke dalam database dan ditampilkan pada *dashboard monitoring*.



Gambar 3.6 Arsitektur Sistem

3.4.4 Perancangan Basis Data

Perancangan basis data dilakukan untuk mendukung penyimpanan dan pengelolaan data pada *Smart Tool Management System*. Basis data digunakan untuk menyimpan informasi pengguna RFID, data alat, pemetaan drawer, status alat, serta riwayat transaksi peminjaman dan pengembalian. Pada penelitian ini digunakan SQLite sebagai *Database Management System* (DBMS) karena memiliki ukuran yang ringan, mudah diintegrasikan dengan *Python*, serta sesuai untuk aplikasi berbasis *edge computing* yang tidak memerlukan server basis data terpisah.

Berdasarkan implementasi sistem yang dikembangkan, basis data terdiri dari tiga tabel utama yaitu tabel *users*, tabel *tools*, dan tabel *transactions*. Struktur basis data dirancang untuk mendukung proses autentikasi pengguna, pencatatan inventaris alat, serta pencatatan aktivitas transaksi secara otomatis. Selain itu, sistem

memanfaatkan file CSV sebagai sumber data master pengguna dan inventaris alat, serta file Microsoft Excel sebagai media penyimpanan laporan transaksi.

3.4.4.1 Data Pengguna (*Users*)

Data pengguna digunakan untuk proses autentikasi RFID sebelum transaksi peminjaman atau pengembalian dilakukan. Setiap pengguna memiliki UID RFID yang bersifat unik serta informasi nama dan peran pengguna.

Tabel 3.5 Struktur Data Pengguna *Users*

Field	Tipe Data	Keterangan
uid	TEXT	UID kartu RFID
name	TEXT	Nama pengguna
role	TEXT	Peran pengguna (<i>Captain Course / Storeman</i>)

3.4.4.2 Data Inventaris Alat (*Tools*)

Tabel *tools* digunakan untuk menyimpan data inventaris alat yang terdapat pada lima drawer FACOM. Data yang disimpan meliputi lokasi *drawer*, *nomor part*, nama alat, serta kelas objek yang digunakan pada model YOLO11n.

Tabel 3 6 Struktur Data Inventaris Alat *Tools*

Field	Tipe Data	Keterangan
Drawer	INTEGER	Nomor drawer
part_number	TEXT	Nomor part alat
tool_name	TEXT	Nama alat
yolo_class	TEXT	Kelas objek YOLO

3.4.4.3 Data Transaksi

Tabel *tools* digunakan untuk menyimpan data inventaris alat yang terdapat pada lima drawer FACOM. Data yang disimpan meliputi lokasi *drawer*, *nomor part*, nama alat, serta kelas objek yang digunakan pada model YOLO11n.

Tabel 3.7 Struktur *Transaction*

Field	Tipe Data	Keterangan
time	DATETIME	Waktu transaksi
user	TEXT	Nama pengguna
drawer	INTEGER	Nomor drawer
tool	TEXT	Nama alat
action	TEXT	<i>BORROW / RETURN</i>
qty	INTEGER	Jumlah alat

3.4.4.4 Mekanisme Penyimpanan Data

Perancangan basis data dilakukan untuk mendukung proses autentikasi pengguna, pengelolaan data inventaris alat, serta pencatatan transaksi peminjaman dan pengembalian pada *Smart Tool Management System*. Sistem menggunakan SQLite sebagai basis data lokal yang terintegrasi dengan aplikasi Python. Selain itu, sistem memanfaatkan file CSV sebagai sumber data master pengguna dan inventaris alat, serta file Microsoft Excel sebagai media penyimpanan laporan transaksi

3.4.5 Perancangan Antarmuka

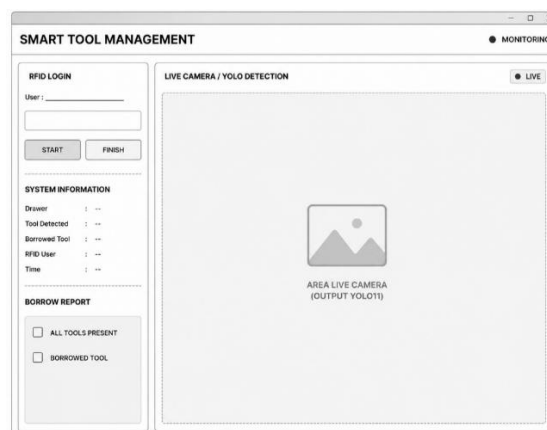
Perancangan antarmuka dilakukan untuk memudahkan pengguna dalam mengakses fungsi-fungsi utama sistem. Antarmuka dirancang sederhana dan terintegrasi sehingga pengguna dapat melakukan proses peminjaman maupun pengembalian alat secara efektif. Pada penelitian ini terdapat dua halaman utama, yaitu halaman katalog alat dan halaman transaksi.

3.4.5.1 Halaman Katalog Alat dan Pemilihan *Drawer*

Halaman ini merupakan halaman awal yang ditampilkan saat aplikasi dijalankan. Pada halaman ini pengguna dapat melihat informasi seluruh alat yang tersedia pada masing-masing *drawer* sebelum melakukan transaksi peminjaman atau pengembalian.

3.4.5.2 Halaman Transaksi Peminjaman dan Pengembalian

Halaman transaksi digunakan untuk melakukan proses peminjaman maupun pengembalian alat. Setelah pengguna memilih *drawer* pada halaman katalog, sistem akan menampilkan halaman transaksi yang terintegrasi dengan RFID, kamera, deteksi objek YOLO11n, database, dan *dashboard monitoring*.



Gambar 3.7 Perancangan Dashboard

3.5 Perancangan Dataset dan Model Deteksi Objek

Perancangan dataset dan model deteksi objek dilakukan untuk mendukung proses identifikasi alat praktik secara otomatis pada *Smart Tool Management System*. Pada penelitian ini digunakan model YOLO11n (*You Only Look Once Version 11 Nano*) untuk mendeteksi alat pada drawer penyimpanan. Model dipilih karena memiliki ukuran yang ringan, kecepatan inferensi yang tinggi, serta mampu menghasilkan akurasi yang baik pada perangkat komputasi dengan sumber daya terbatas. Tahapan yang dilakukan meliputi akuisisi dataset, pelabelan data, pembagian dataset, pemilihan model, proses pelatihan, serta perancangan evaluasi model.

3.5.1 Akuisisi Dataset

Tahap akuisisi dataset dilakukan dengan mengumpulkan citra alat praktik yang tersimpan pada lima drawer *tool storage system* merek FACOM yang berada di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam.

Dataset diperoleh melalui proses perekaman video dan pengambilan citra menggunakan kamera yang diposisikan di atas *drawer*. Pengambilan data dilakukan pada berbagai kondisi peminjaman dan pengembalian alat untuk memperoleh variasi posisi objek, orientasi alat, serta kondisi pencahayaan yang berbeda. Objek yang digunakan pada penelitian terdiri dari 141 alat yang tersebar pada lima *drawer* dengan rincian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Distribusi Alat pada Setiap Drawer

<i>Drawer</i>	Jumlah Alat
<i>Drawer 1</i>	55
<i>Drawer 2</i>	20
<i>Drawer 3</i>	24
<i>Drawer 4</i>	34
<i>Drawer 5</i>	8
Total	141

Pengambilan data dilakukan dengan posisi kamera yang tetap agar diperoleh citra yang konsisten. Dari proses tersebut diperoleh 306 dataset asli yang terdiri atas data dari seluruh *drawer*. Distribusi dataset pada setiap *drawer*.

Tabel 3 9 Distribusi Gambar berdasarkan *Drawer*

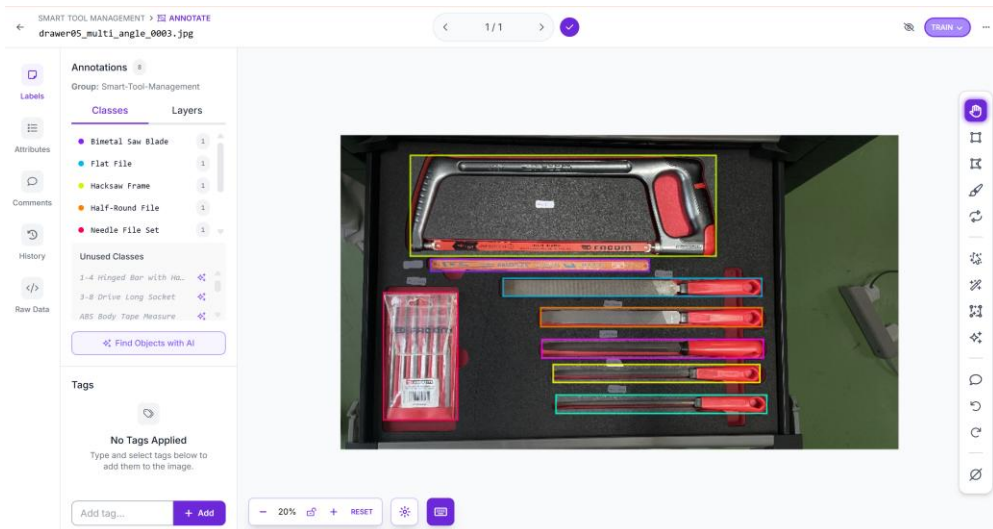
<i>Drawer</i>	Jumlah Dataset
<i>Drawer 1</i>	124
<i>Drawer 2</i>	35
<i>Drawer 3</i>	53
<i>Drawer 4</i>	41
<i>Drawer 5</i>	52
Total	306

Dalam proses pelabelan, alat-alat yang memiliki karakteristik bentuk serupa dikelompokkan menjadi beberapa kelas sehingga diperoleh sebanyak 56 kelas objek yang digunakan dalam pelatihan model YOLO11n.

3.5.2 Pelabelan Dataset

Setelah proses akuisisi data selesai dilakukan, setiap citra diberikan anotasi menggunakan metode *bounding box*. Proses anotasi bertujuan untuk memberikan informasi lokasi dan kelas objek yang terdapat pada setiap citra sehingga dapat digunakan sebagai data pelatihan model deteksi objek.

Pelabelan dataset dilakukan menggunakan *platform* Roboflow yang mendukung format anotasi YOLO. Setiap objek alat yang terlihat pada citra diberikan *bounding box* dan label kelas sesuai dengan kategori alat yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil anotasi kemudian diekspor ke format YOLO yang terdiri atas file citra dan file label (.txt) untuk setiap gambar.



Gambar 3.8 Pelabelan Dataset

3.5.3 Pembagian Dataset

Sebelum proses pelatihan model, dataset diproses menggunakan fitur *preprocessing* dan *augmentation* yang tersedia pada Roboflow. Tahap *preprocessing* bertujuan menyeragamkan format citra agar sesuai dengan kebutuhan model, sedangkan *augmentation* bertujuan meningkatkan variasi data pelatihan sehingga model lebih mampu mengenali objek pada berbagai kondisi.

Tabel 3.10 Konfigurasi *Preprocessing* dan *Augmentasi*

Parameter	Nilai
<i>Auto-Orient</i>	<i>Applied</i>
<i>Resize</i>	<i>Stretch to 640 × 640 piksel</i>
<i>Rotation</i>	-3° hingga $+3^{\circ}$
<i>Saturation</i>	-5% hingga $+5\%$
<i>Brightness</i>	-10% hingga $+10\%$
<i>Exposure</i>	-10% hingga $+10\%$ w
<i>Outputs per Training Example</i>	3

Setelah proses *preprocessing* dan *augmentation*, jumlah dataset bertambah menjadi 796 citra yang selanjutnya digunakan pada proses pelatihan model. Dataset hasil *preprocessing* dan *augmentation* kemudian dibagi secara otomatis menggunakan Roboflow menjadi *training set*, *validation set*, dan *testing set*. Pembagian ini bertujuan agar model dapat dilatih, divalidasi selama proses pelatihan, serta dievaluasi menggunakan data yang tidak digunakan pada proses pelatihan.

Tabel 3.11 Konfigurasi Model Latih

Dataset	Jumlah Citra	Persentase
<i>Training Set</i>	735	92%
<i>Validation Set</i>	31	4%
<i>Testing Set</i>	30	4%
Total	796	100%

3.5.4 Pemilihan Model YOLO11n

Penelitian ini menggunakan model YOLO11n (*You Only Look Once Version 11 Nano*) sebagai algoritma deteksi objek. YOLO merupakan salah satu algoritma *object detection* yang mampu melakukan proses klasifikasi dan lokalisasi objek secara bersamaan dalam satu tahap (*single-stage detector*) sehingga memiliki kecepatan inferensi yang tinggi dibandingkan metode deteksi dua tahap (*two-stage detector*).

Model YOLO11n dipilih karena memiliki ukuran model yang relatif kecil, kebutuhan komputasi yang rendah, serta mampu memberikan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan inferensi. Karakteristik tersebut menjadikan YOLO11n sesuai untuk diterapkan pada sistem monitoring aset yang membutuhkan proses deteksi secara *real-time*.

Selain itu, model YOLO11n juga memiliki arsitektur yang lebih efisien dibandingkan generasi YOLO sebelumnya sehingga mampu mempertahankan performa deteksi yang baik pada lingkungan operasional dengan sumber daya komputasi terbatas [25].

3.5.5 Parameter Pelatihan Model

Pelatihan model dilakukan menggunakan *framework Ultralytics YOLO* dengan memanfaatkan GPU untuk mempercepat proses komputasi. Beberapa parameter utama yang digunakan dalam proses pelatihan ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.12 Parameter Pelatihan Model

Parameter	Nilai
Model	YOLO11n (yolo11n.pt)
<i>Framework</i>	<i>Ultralytics YOLO</i>
Tugas (<i>Task</i>)	<i>Object Detection</i>
Jumlah <i>Epoch</i>	100
<i>Batch Size</i>	8
Ukuran Citra (<i>Image Size</i>)	640 × 640 piksel
<i>Optimizer</i>	Auto
<i>Learning Rate Awal</i>	0,01
<i>Patience</i>	100
Dataset	dataset/roboflow/data.yaml

<i>Device</i>	GPU (device = 0)
Format Model	<i>TorchScript</i>

3.5.6 Perancangan Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengukur kemampuan YOLO11n dalam mendeteksi alat praktik pada drawer penyimpanan. Pengukuran performa model dilakukan menggunakan beberapa metrik evaluasi yang umum digunakan pada penelitian deteksi objek, yaitu *Precision*, *Recall*, *Mean Average Precision* ($mAP@50$), dan *Mean Average Precision* ($mAP@50-95$).

Tabel 3.13 Parameter Performa Model

Parameter	Penjelasan	Interpretasi
<i>Precision</i>	Mengukur ketepatan model dalam mendeteksi objek.	Semakin mendekati 1,00 (100%) semakin baik
<i>Recall</i>	Mengukur kemampuan model menemukan seluruh objek yang seharusnya terdeteksi.	Semakin mendekati 1,00 (100%) semakin baik
$mAP@0.5$	Rata-rata nilai Average Precision pada IoU 0,5.	Nilai >0,80 umumnya menunjukkan performa deteksi yang baik
$mAP@0.5:0.95$	Rata-rata mAP pada IoU 0,5–0,95.	Nilai >0,50 sudah dianggap baik karena menggunakan IoU yang lebih ketat
<i>Confusion Matrix</i>	Menunjukkan hubungan antara hasil prediksi dan label sebenarnya.	Semakin banyak prediksi pada diagonal utama menunjukkan klasifikasi semakin baik

Confusion Matrix merupakan metode evaluasi yang umum digunakan untuk mengukur performa model klasifikasi. Pada penelitian ini, metode tersebut diterapkan untuk menilai kinerja model deteksi objek berbasis kamera dengan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) yang telah dilatih menggunakan *platform Roboflow*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model terhadap data uji (*ground truth*) dan mengklasifikasikannya ke dalam empat kategori utama, yaitu:

1. *True Positive* (TP): Alat terdeteksi dengan benar oleh sistem sesuai label.
2. *False Positive* (FP): Sistem mendeteksi alat padahal alat tersebut tidak ada.
3. *False Negative* (FN): Sistem gagal mendeteksi alat yang sebenarnya ada.
4. *True Negative* (TN): Sistem dengan benar tidak mendeteksi alat yang memang tidak tersedia.

Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, dilakukan perhitungan terhadap empat metrik evaluasi utama, yaitu:

1. *Accuracy*, perhitungan akurasi dilakukan dengan membagi jumlah data yang diklasifikasikan dengan benar oleh model terhadap jumlah keseluruhan sampel data uji.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

2. *Precision*, mengukur seberapa akurat model dalam memberikan prediksi positif, dengan fokus pada seberapa banyak prediksi positif yang benar dibandingkan semua prediksi positif yang dibuat.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

3. *Recall*, mengukur kemampuan model untuk menemukan semua data positif yang sebenarnya ada.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

4. *F1-Score*, merupakan rata-rata harmonis antara Presisi dan Recall yang memberikan gambaran seimbang terhadap performa model, khususnya pada kondisi data yang tidak seimbang.

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Penggunaan Confusion Matrix pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memastikan bahwa sistem mampu mengenali alat mekanik dengan tingkat keandalan yang memadai sebelum diimplementasikan pada lingkungan operasional di hanggar pendidikan penerbangan.

Hasil evaluasi berupa nilai Precision, Recall, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95, serta *Confusion Matrix* diperoleh secara otomatis dari proses validasi model pada *framework Ultralytics YOLO11n* [39].

3.6 Perancangan Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa *Smart Tool Management System* yang dikembangkan dapat berfungsi sesuai kebutuhan pengguna dan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan terhadap model deteksi objek, fungsionalitas sistem, serta tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Tahapan pengujian yang dirancang terdiri atas pengujian model deteksi objek, pengujian fungsional (*black box testing*), dan *User Acceptance Testing* (UAT).

3.6.1 Pengujian Model Deteksi Objek

Pengujian model deteksi objek dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model YOLO11n dalam mendeteksi alat praktik yang terdapat pada drawer penyimpanan. Evaluasi dilakukan menggunakan data pengujian (*testing set*) yang tidak digunakan selama proses pelatihan model. Metrik evaluasi yang digunakan meliputi: Precision, Recall, mAP@50, dan mAP@50–95. Metrik tersebut dipilih karena merupakan parameter yang umum digunakan untuk mengukur performa model deteksi objek.

3.6.2 Pengujian Fungsional Sistem (*Black Box Testing*)

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan setiap fungsi pada sistem dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan tanpa memperhatikan struktur kode program yang digunakan. Skenario pengujian dilakukan terhadap seluruh fungsi utama sistem, mulai dari autentikasi RFID hingga penyimpanan transaksi ke basis data.

Tabel 3.14 Rancangan Pengujian *Black Box*

No	Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan
1	Katalog Alat	Membuka halaman katalog alat	Sistem menampilkan daftar alat dan status inventaris pada setiap drawer
2	Pemilihan <i>Drawer</i>	Memilih salah satu <i>drawer</i>	Sistem menampilkan halaman transaksi sesuai <i>drawer</i> yang dipilih
3	Autentikasi RFID	Menempelkan kartu RFID yang terdaftar	Sistem membaca identitas pengguna dan menampilkan informasi pengguna
4	Memulai Transaksi	Menekan tombol <i>START</i> setelah autentikasi berhasil	Sistem memulai sesi transaksi dan mengaktifkan deteksi alat
5	Deteksi Alat	Mengambil atau mengembalikan alat selama transaksi	Sistem mendeteksi perubahan kondisi alat dan memperbarui status alat

6	Verifikasi Manual	Menekan tombol <i>FINISH</i> setelah transaksi selesai	Sistem menampilkan halaman verifikasi manual
7	Penyimpanan Data	Menyimpan hasil verifikasi	Sistem menyimpan data transaksi ke SQLite Database
8	Integrasi MQTT	Transaksi berhasil disimpan	Sistem mengirimkan data transaksi ke broker MQTT
9	<i>Dashboard Monitoring</i>	Data diterima oleh Home Assistant	Dashboard menampilkan informasi transaksi dan status alat secara <i>real-time</i>
10	Laporan Transaksi	Menyelesaikan transaksi	Sistem menyimpan riwayat transaksi yang dapat diekspor ke Microsoft Excel

Keberhasilan pengujian ditentukan berdasarkan kesesuaian antara hasil aktual sistem dengan hasil yang diharapkan pada setiap skenario pengujian.

3.6.3 Pengujian *User Acceptance Testing* (UAT)

User Acceptance Testing (UAT) dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Pengujian dilakukan dengan melibatkan pengguna yang berinteraksi langsung dengan system.

Responden diminta menggunakan sistem untuk melakukan simulasi proses peminjaman dan pengembalian alat, kemudian memberikan penilaian terhadap beberapa aspek sistem melalui kuesioner. Aspek yang dievaluasi meliputi:

Tabel 3.15 Pernyataan *User Acceptance Testing* (UAT)

No	Pernyataan
1	Sistem mudah digunakan dalam proses peminjaman dan pengembalian alat
2	Tampilan antarmuka sistem mudah dipahami
3	Informasi katalog alat dan status inventaris mudah dipahami
4	Proses autentikasi RFID berjalan dengan baik
5	Sistem membantu mempermudah proses pencatatan alat yang dipinjam atau dikembalikan
6	Fitur verifikasi manual membantu mengurangi kesalahan hasil deteksi alat
7	<i>Dashboard monitoring</i> memudahkan pemantauan status alat secara <i>real-time</i>
8	Informasi transaksi yang ditampilkan sistem sudah sesuai kebutuhan pengguna
9	Sistem membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan alat praktik dibandingkan metode manual
10	Secara keseluruhan sistem layak digunakan

Penilaian dilakukan menggunakan skala *Likert* 5 tingkat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Skala Penilaian UAT

Nilai	Keterangan
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju
3	Netral
4	Setuju
5	Sangat Setuju

Nilai UAT dihitung menggunakan persamaan:

$$Persentase = \frac{\sum skor \text{ aktual}}{\sum skor \text{ maksimum}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan kemudian dikategorikan menggunakan kriteria pada Tabel 3.16.

Tabel 3.17 Kriteria Interpretasi UAT

Persentase	Kategori
0–20%	Sangat Tidak Baik
21–40%	Tidak Baik
41–60%	Cukup
61–80%	Baik
81–100%	Sangat Baik

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

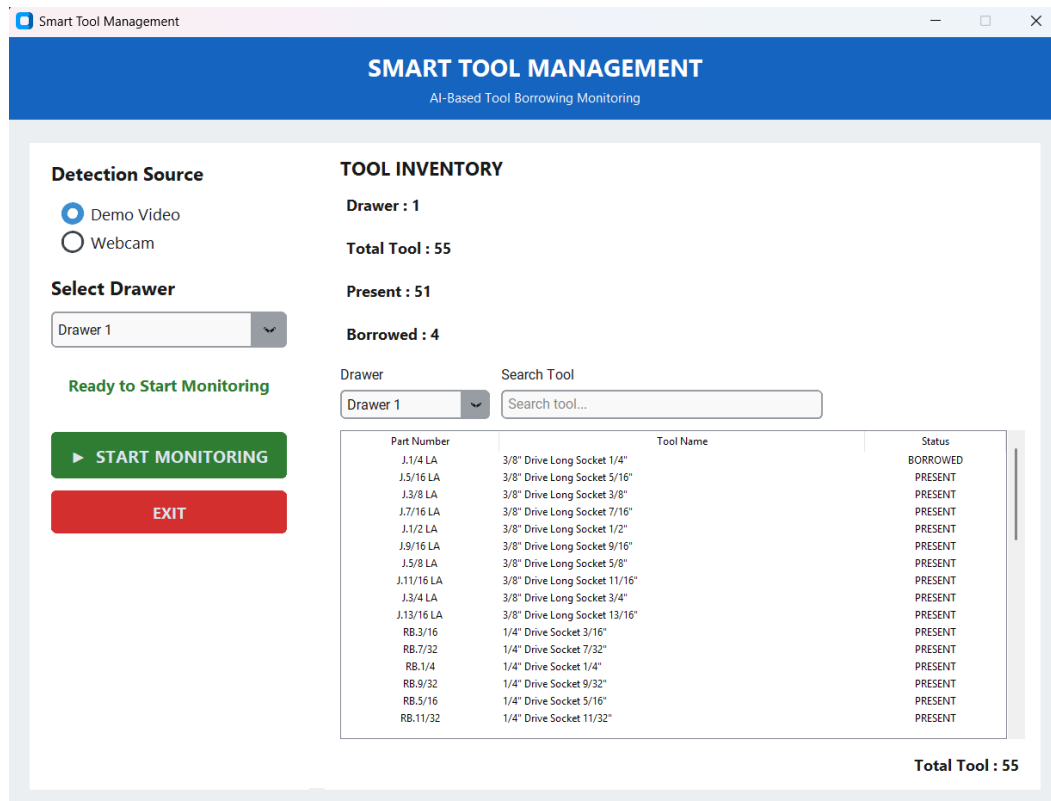
Pada subbab ini dijelaskan hasil implementasi *Smart Tool Management System* yang dikembangkan untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik di Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam. Sistem mengintegrasikan autentikasi RFID, deteksi objek menggunakan YOLO11n, basis data SQLite, komunikasi MQTT, serta *dashboard monitoring* berbasis *Home Assistant*. Implementasi sistem dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dijelaskan pada Bab III dan terdiri atas beberapa modul utama yaitu katalog alat, transaksi peminjaman dan pengembalian, deteksi objek, verifikasi manual, penyimpanan data, dan *monitoring real-time*.



Gambar 4.1 Implementasi Perangkat Keras *Smart Tool Management System*

4.1.1 Implementasi Katalog Alat dan Pemilihan *Drawer*

Halaman katalog alat digunakan sebagai titik awal proses transaksi. Sebelum melakukan peminjaman atau pengembalian alat, pengguna dapat melihat daftar alat yang tersedia pada masing-masing *drawer* beserta status ketersediaannya. Informasi tersebut membantu pengguna mengetahui kondisi inventaris sebelum transaksi dilakukan.



Gambar 4.2 Halaman Katalog Alat dan Pemilihan *Drawer*

4.1.2 Implementasi Autentikasi RFID

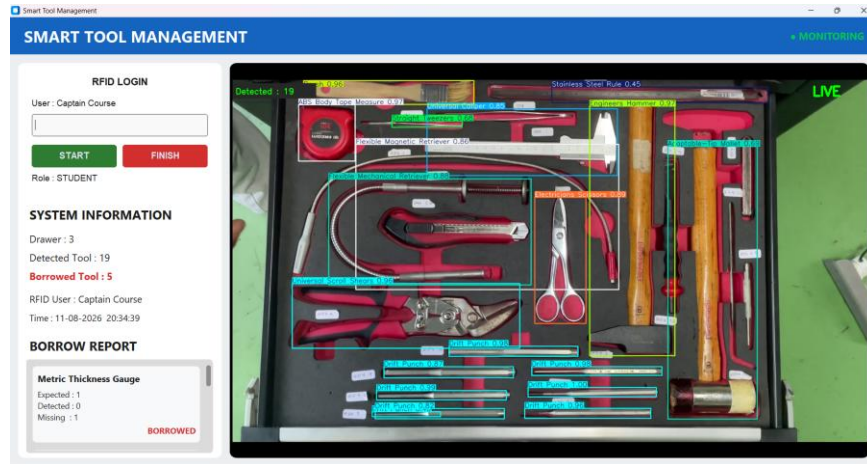
Sistem menggunakan RFID sebagai mekanisme autentikasi pengguna sebelum transaksi dimulai. Identitas pengguna yang berhasil dikenali akan ditampilkan pada *dashboard* sistem dan digunakan sebagai informasi pencatatan transaksi.



Gambar 4.3 Implementasi RFID Autentikasi

4.1.3 Implementasi Transaksi Peminjaman dan Pengembalian

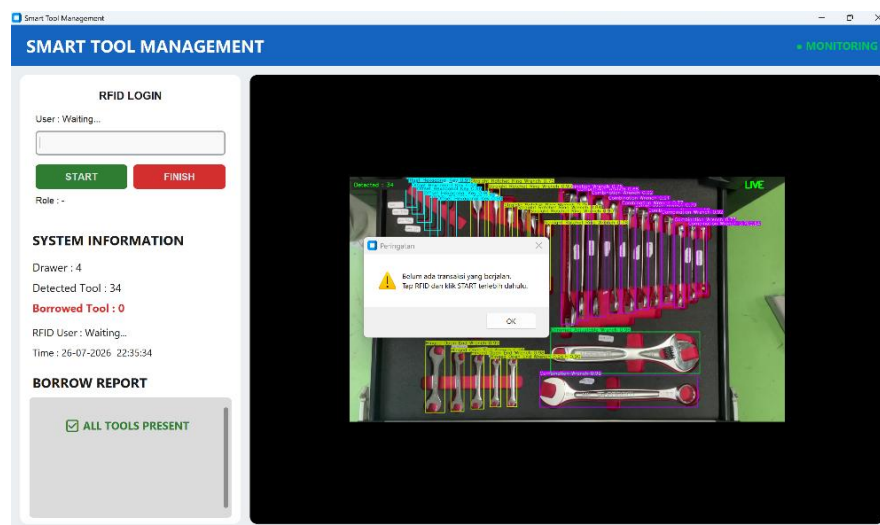
Setelah proses autentikasi berhasil dilakukan, pengguna dapat menekan tombol *Start Transaction* untuk memulai transaksi. Sistem mulai melakukan pemantauan kondisi alat pada *drawer* secara *real-time*.



Gambar 4.4 Halaman Transaksi

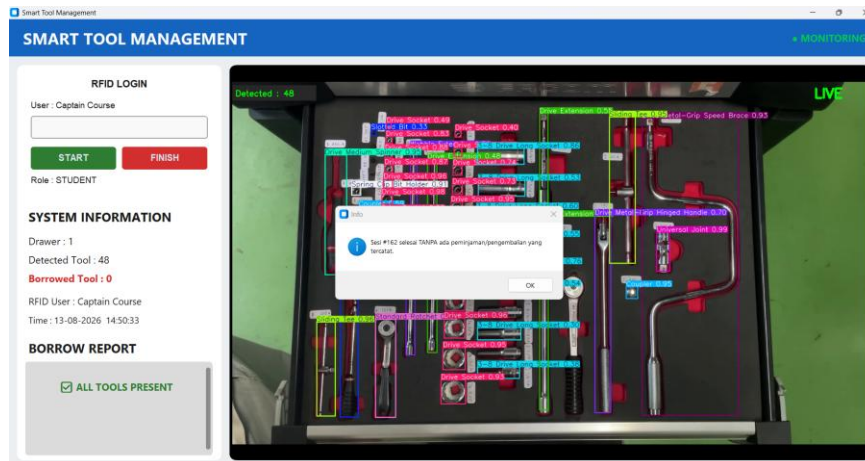
4.1.4 Tampilan Popup Interaksi Pengguna pada Sistem

Popup peringatan sebelum autentikasi RFID ditampilkan ketika pengguna menekan tombol *START* tanpa terlebih dahulu melakukan autentikasi menggunakan kartu RFID. Popup ini berfungsi sebagai mekanisme validasi agar sesi transaksi hanya dapat dimulai oleh pengguna yang telah berhasil teridentifikasi oleh sistem. Pada kondisi tersebut, sistem menampilkan pesan "Tap/ masukkan RFID dulu sebelum menekan *START*." sehingga pengguna diarahkan untuk melakukan autentikasi terlebih dahulu sebelum melanjutkan proses transaksi.



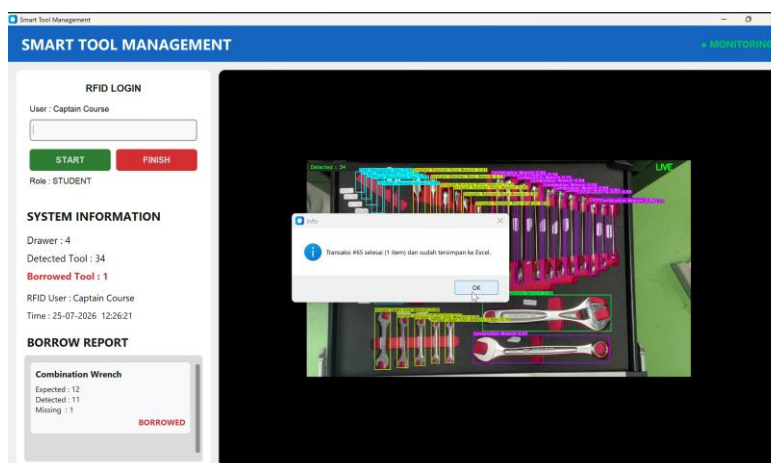
Gambar 4.5 Popup Peringatan Sebelum Autentikasi RFID

Popup peringatan belum ada transaksi ditampilkan ketika pengguna menekan tombol *FINISH* sebelum terdapat sesi transaksi yang sedang berjalan. *Popup* ini bertujuan untuk mencegah sistem mengakhiri transaksi yang belum pernah dimulai. Pada kondisi tersebut, sistem menampilkan pesan "Belum ada transaksi yang berjalan. Tap RFID dan klik *START* terlebih dahulu." sebagai informasi bahwa pengguna harus melakukan autentikasi RFID dan memulai sesi transaksi sebelum dapat mengakhirinya.



Gambar 4.6 Popup Penyelesaian Transaksi

Popup penyelesaian transaksi ditampilkan setelah pengguna menekan tombol *FINISH* dan seluruh proses transaksi berhasil diproses oleh sistem. Popup ini berfungsi sebagai konfirmasi bahwa data transaksi telah berhasil disimpan ke dalam basis data dan laporan transaksi telah diekspor ke dalam Microsoft Excel. Informasi yang ditampilkan meliputi nomor transaksi, jumlah item yang diproses, serta pemberitahuan bahwa proses penyimpanan data telah berhasil dilakukan. Setelah pengguna menekan tombol OK, sistem kembali ke kondisi siap digunakan untuk sesi transaksi berikutnya.



Gambar 4.7 Popup Penyelesaian Transaksi

4.1.5 Implementasi Deteksi Objek Menggunakan YOLO11n

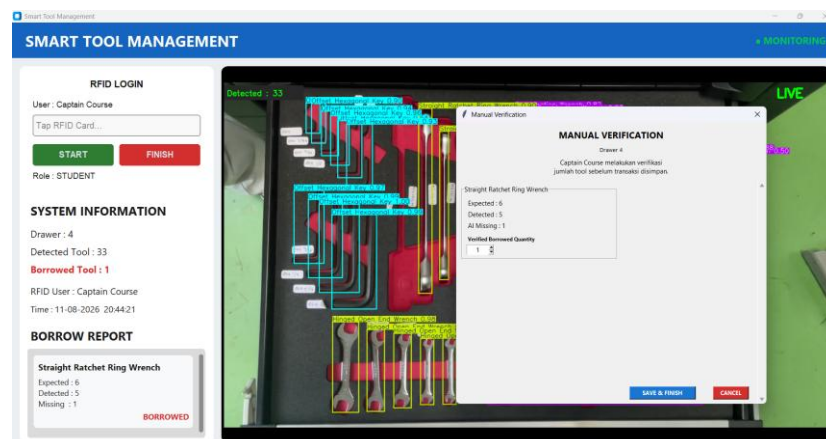
Sistem menggunakan model YOLO11n untuk mendeteksi perubahan kondisi alat pada *drawer*. Ketika alat diambil atau dikembalikan, sistem melakukan identifikasi objek dan memperbarui status alat sesuai hasil deteksi.



Gambar 4.8 Hasil Deteksi YOLO11n

4.1.6 Implementasi Verifikasi Manual

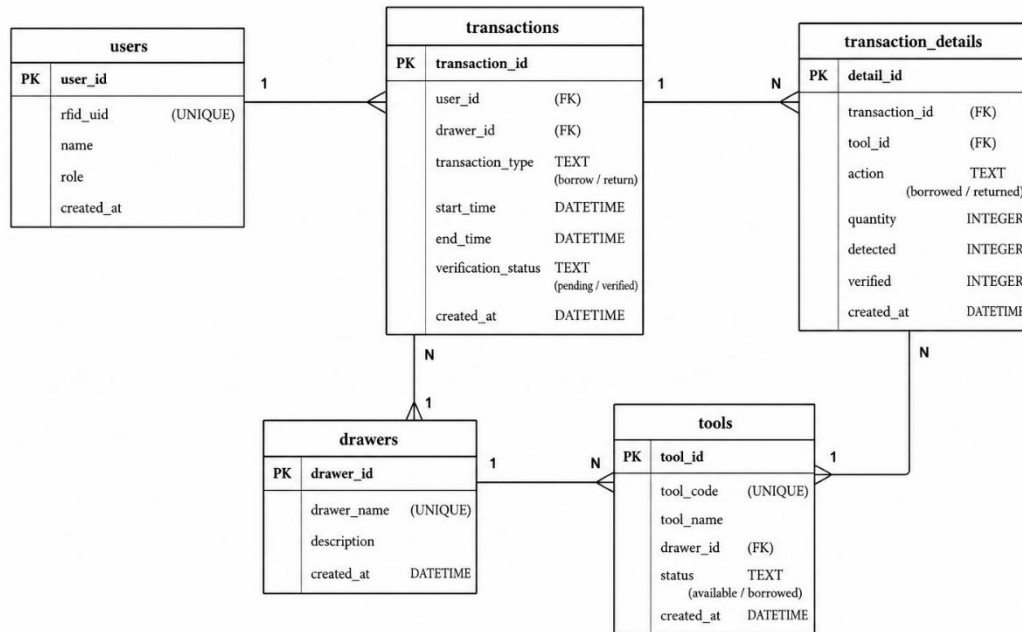
Verifikasi manual merupakan tahap validasi akhir yang dilakukan oleh *Captain Course* sebelum transaksi disimpan ke dalam sistem. Pada tahap ini, pengguna dapat meninjau hasil deteksi yang diperoleh dari model YOLO11n dan melakukan penyesuaian apabila terdapat ketidaksesuaian dengan kondisi aktual. Selain mengoreksi status alat, pengguna juga dapat mengubah jumlah alat yang dipinjam atau dikembalikan. Nilai jumlah (*quantity*) digunakan sebagai indikator status alat, dimana nilai 0 menunjukkan alat masih tersedia (*present*) di dalam *drawer*, sedangkan nilai lebih dari 0 menunjukkan alat telah dipinjam (*borrowed*). Hasil verifikasi manual yang telah disetujui kemudian disimpan ke dalam SQLite Database dan diperbarui pada *dashboard Home Assistant* secara *real-time* melalui MQTT.



Gambar 4.9 Halaman Verifikasi Manual

4.1.7 Implementasi Basis Data SQLite

SQLite digunakan sebagai basis data lokal untuk menyimpan data pengguna, data alat, status alat, transaksi peminjaman dan pengembalian, serta riwayat aktivitas sistem.



Gambar 4.10 Struktur Database

4.1.8 Penyimpanan Data Transaksi

Setiap transaksi peminjaman dan pengembalian alat yang telah melalui proses verifikasi manual akan disimpan ke dalam basis data SQLite. Data yang disimpan meliputi identitas pengguna berdasarkan RFID, informasi *drawer*, waktu transaksi, status alat, serta hasil verifikasi yang telah disetujui oleh pengguna. Data yang tersimpan pada SQLite selanjutnya digunakan sebagai sumber informasi untuk *dashboard monitoring Home Assistant* melalui komunikasi MQTT.

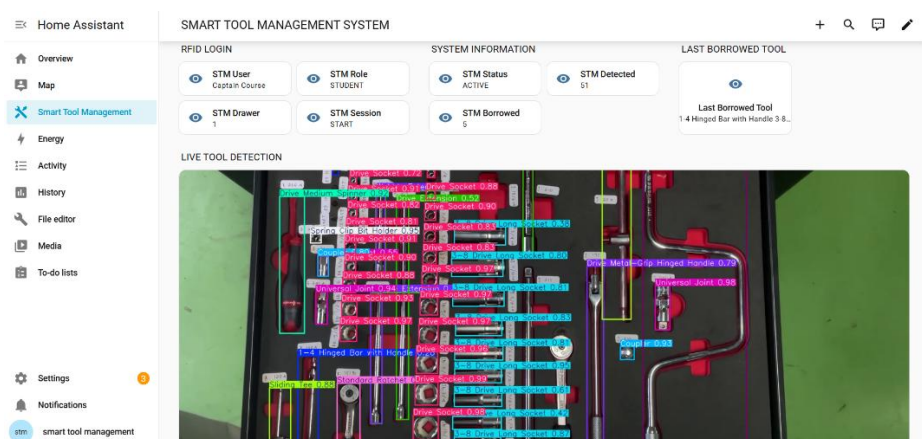
Selain disimpan pada SQLite Database, sistem juga menyediakan fitur ekspor data transaksi ke dalam format Microsoft Excel. Fitur ini digunakan untuk mempermudah proses dokumentasi, pelaporan, dan pencadatan riwayat inventaris dalam jangka panjang. File Excel yang dihasilkan berisi informasi transaksi seperti nama pengguna, *drawer*, nama alat, jumlah alat, waktu transaksi, serta status alat. Dengan adanya fitur ini, data transaksi dapat diakses dan dianalisis kembali tanpa harus membuka basis data secara langsung.

	A	B	C	D	E	F
1	Time	User	Drawer	Tool	Action	Qty
2	2026-08-08 15:29:49	Captain Course	1	Standard Ratchet	BORROW	1
3	2026-08-08 15:29:49	Captain Course	1	Slotted Bit	BORROW	1
4	2026-08-08 15:29:49	Captain Course	1	Phillips Bit	BORROW	1
5	2026-08-08 15:29:49	Captain Course	1	3-8 Drive Long Socket	BORROW	1
6	2026-08-07 21:07:22	Captain Course	3	Straight Tweezers	RETURN	1
7	2026-08-07 15:39:08	Captain Course	5	Bimetal Saw Blade	BORROW	1
8	2026-08-07 15:26:04	Captain Course	5	Bimetal Saw Blade	BORROW	1
9	2026-08-07 14:52:42	Captain Course	1	Slotted Bit	BORROW	2
10	2026-08-06 23:34:00	Captain Course	1	3-8 Drive Long Socket	BORROW	1
11	2026-08-06 22:44:27	Captain Course	1	Drive Socket	BORROW	1
12	2026-08-06 22:44:23	Captain Course	1	Wobble Extension	BORROW	1
13	2026-08-06 22:44:23	Captain Course	1	Standard Ratchet	BORROW	1
14	2026-08-06 22:44:23	Captain Course	1	Slotted Bit	BORROW	3
15	2026-08-06 22:44:23	Captain Course	1	Phillips Bit	BORROW	2
16	2026-08-06 22:44:23	Captain Course	1	3-8 Drive Long Socket	BORROW	4
17	2026-08-06 21:34:14	Captain Course	1	Wobble Extension	RETURN	1
18	2026-08-06 21:34:14	Captain Course	1	Slotted Bit	BORROW	2
19	2026-08-06 21:34:14	Captain Course	1	Phillips Bit	BORROW	1
20	2026-08-06 21:34:14	Captain Course	1	Drive Extension	RETURN	1
21	2026-08-06 21:34:14	Captain Course	1	3-8 Drive Long Socket	BORROW	2
22	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Wobble Extension	BORROW	1
23	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Standard Ratchet	RETURN	1
24	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Slotted Bit	RETURN	1
25	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Phillips Bit	RETURN	1
26	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Drive Socket	RETURN	5
27	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	Drive Extension	RETURN	2
28	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	3-8 Drive Long Socket	RETURN	7
29	2026-08-06 21:07:05	Captain Course	1	1-4 Hinged Bar with Handle	RETURN	1

Gambar 4.11 Ekspor Data Transaksi

4.1.9 Implementasi MQTT dan Home Assistant

Data transaksi yang tersimpan pada sistem dikirimkan melalui MQTT dan ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard Home Assistant*.



Gambar 4.12 Dashboard Home Assistant

4.2 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model

Pada penelitian ini, model deteksi objek digunakan untuk mengidentifikasi kondisi alat praktik yang tersimpan pada drawer penyimpanan. Model yang digunakan pada

implementasi sistem adalah YOLO11n, sedangkan YOLO26n digunakan sebagai model perbandingan untuk mengevaluasi performa deteksi objek.

Dataset yang digunakan terdiri dari citra alat praktik yang berada pada lima drawer penyimpanan dengan total 56 kelas objek. Proses pelatihan dilakukan menggunakan parameter pelatihan yang sama untuk kedua model sehingga perbedaan hasil yang diperoleh berasal dari karakteristik masing-masing arsitektur model. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan beberapa metrik, yaitu Precision, Recall, F1-Score, dan mAP@50. Metrik tersebut digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mengidentifikasi objek secara tepat dan konsisten.

4.2.1 Hasil Evaluasi Model YOLO11n

Setelah dilakukan proses pelatihan dan perbandingan model, YOLO11n dipilih sebagai model yang digunakan pada implementasi sistem. Evaluasi model dilakukan menggunakan data pengujian untuk mengetahui kemampuan model dalam mendeteksi alat praktik yang tersimpan pada *drawer* penyimpanan.

Tabel 4.1 Hasil Evaluasi Model YOLOV11n

Parameter	Hasil
Precision	84,3%
Recall	87,7%
mAP@0.5	92,1%
mAP@0.5:0.95	77,7%

Berdasarkan hasil evaluasi yang diperoleh, model YOLO11n menunjukkan performa deteksi yang baik untuk digunakan pada *Smart Tool Management System*. Nilai *Precision* sebesar 84,3% menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi yang dihasilkan model merupakan prediksi yang benar. Dengan kata lain, model memiliki tingkat kesalahan identifikasi yang relatif rendah.

Nilai *Recall* sebesar 87,7% menunjukkan bahwa sebagian besar alat yang terdapat pada dataset berhasil dideteksi oleh model. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali objek dengan tingkat kelengkapan yang baik sehingga risiko alat tidak terdeteksi dapat diminimalkan.

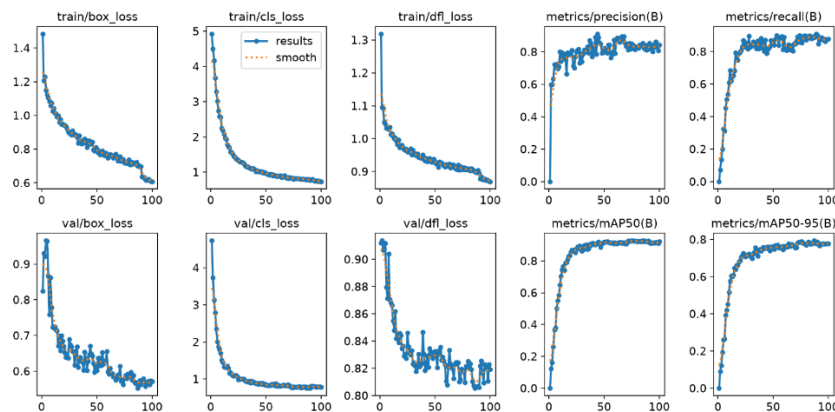
Nilai *F1-Score* sebesar 86,0% menunjukkan bahwa model memiliki keseimbangan yang baik antara *Precision* dan *Recall*. Hal ini penting karena sistem tidak hanya dituntut menghasilkan prediksi yang tepat, tetapi juga harus mampu mendeteksi sebanyak mungkin alat yang tersedia pada *drawer*.

Selain itu, nilai $mAP@50$ sebesar 92,1% menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang sangat baik dalam melakukan deteksi objek pada *threshold Intersection over Union* (IoU) sebesar 0,50. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar objek dapat dikenali dan dilokalisasi dengan baik oleh model.

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa model YOLO11n memiliki performa yang memadai untuk diimplementasikan pada *Smart Tool Management System* dalam mendukung proses identifikasi alat praktik secara otomatis pada lingkungan hanggar pendidikan penerbangan.

4.2.2 Hasil Pelatihan Model

Proses pelatihan dilakukan menggunakan dataset yang telah melalui tahap anotasi dan pembagian data pelatihan, validasi, serta pengujian. Selama proses pelatihan, model mempelajari karakteristik visual setiap alat praktik berdasarkan label yang diberikan pada dataset.



Gambar 4.13 Hasil Pelatihan Model dari *Framework Ultralytics*

Gambar 4.9 menunjukkan perkembangan proses pelatihan model selama 100 *epoch*. Grafik memperlihatkan bahwa nilai *train box loss*, *train classification loss*, dan *Distribution Focal Loss* (DFL) mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai kondisi yang relatif stabil pada akhir proses pelatihan. Penurunan nilai *loss* menunjukkan bahwa model mampu mempelajari karakteristik objek yang terdapat pada dataset dengan baik.

Pada saat yang sama, nilai *Precision*, *Recall*, $mAP@50$, dan $mAP@50-95$ mengalami peningkatan hingga mencapai kondisi konvergen pada epoch terakhir. Pola tersebut menunjukkan bahwa proses pembelajaran berlangsung secara stabil dan model berhasil mencapai performa terbaiknya tanpa menunjukkan fluktuasi yang signifikan pada akhir proses pelatihan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa

model telah mempelajari pola data secara optimal sehingga layak digunakan pada tahap implementasi sistem.

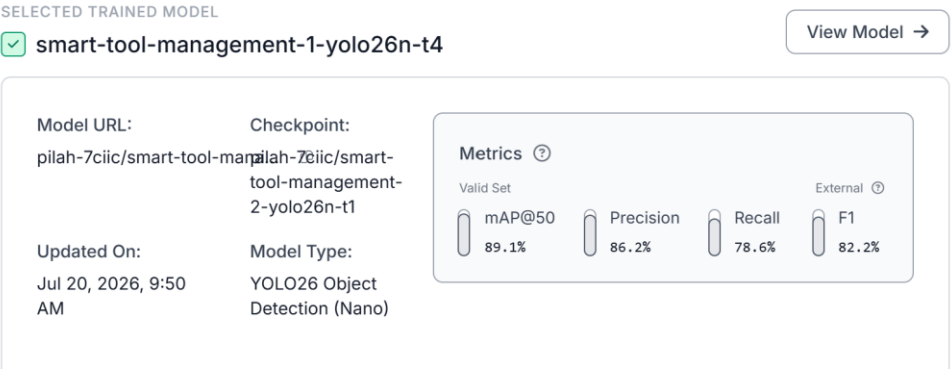


Gambar 4 14 Hasil Deteksi Model YOLO11 Nano

4.2.3 Perbandingan YOLO11n dan YOLO26n

Untuk mengetahui performa model deteksi objek yang digunakan pada sistem, dilakukan perbandingan antara model YOLO11n dan YOLO26n menggunakan dataset, konfigurasi pelatihan, dan parameter pengujian yang sama. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik *Precision*, *Recall*, *F1-Score*, dan *mAP@50*.

Model YOLO26 Nano dipilih sebagai pembanding karena merupakan arsitektur YOLO generasi terbaru yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi proses inferensi dan performa deteksi objek. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi untuk mengetahui apakah model tersebut mampu memberikan peningkatan performa pada dataset *Smart Tool Management* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.15 Hasil Evaluasi Model YOLO26n Menggunakan Roboflow

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa kedua model mampu menghasilkan performa deteksi objek yang baik dengan nilai $mAP@50$ di atas 89%. Namun demikian, terdapat beberapa perbedaan pada setiap metrik evaluasi.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Evaluasi Model YOLO11 Nano dan YOLO26 Nano

Parameter	YOLO11 Nano	YOLO26 Nano	Analisis
<i>Precision</i>	84,3%	86,2%	YOLO26 menghasilkan ketepatan prediksi sedikit lebih tinggi.
<i>Recall</i>	87,7%	78,6%	YOLO11 mampu mendeteksi lebih banyak objek sehingga risiko <i>false negative</i> lebih rendah.
<i>F1-Score</i>	86,0%*	82,2%	YOLO11 memiliki keseimbangan precision dan recall yang lebih baik.
$mAP@50$	92,1%	89,1%	YOLO11 memberikan akurasi deteksi keseluruhan yang lebih tinggi pada dataset penelitian.

Model YOLO11n memperoleh nilai *Precision* sebesar 84,3%, sedangkan YOLO26n memperoleh nilai 86,2%. Hal ini menunjukkan bahwa YOLO26n memiliki kemampuan yang sedikit lebih baik dalam mengurangi kesalahan prediksi objek yang tidak sesuai.

Pada metrik *Recall*, YOLO11n memperoleh nilai sebesar 87,7%, sedangkan YOLO26n memperoleh nilai 78,6%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa YOLO11n mampu mendeteksi lebih banyak objek yang sebenarnya terdapat pada dataset dibandingkan YOLO26n.

Nilai *F1-Score* yang merupakan kombinasi antara *Precision* dan *Recall* menunjukkan bahwa YOLO11n memperoleh nilai sebesar 86,0%, sedangkan YOLO26n memperoleh nilai 82,2%. Hal ini mengindikasikan bahwa YOLO11n memiliki keseimbangan performa yang lebih baik antara ketepatan dan kelengkapan deteksi.

Berdasarkan nilai $mAP@50$, YOLO11n memperoleh nilai sebesar 92,1% sedangkan YOLO26n memperoleh nilai sebesar 89,1%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa YOLO11n mampu menghasilkan performa deteksi objek yang lebih baik pada *threshold IoU* 0,50.

Secara keseluruhan, meskipun YOLO26n menghasilkan nilai *Precision* yang sedikit lebih tinggi, model YOLO11n menunjukkan performa yang lebih baik pada metrik *Recall*, *F1-Score*, dan $mAP@50$. Oleh karena itu, YOLO11n dipilih sebagai model utama yang digunakan dalam implementasi *Smart Tool Management System*

karena mampu memberikan keseimbangan performa yang lebih baik untuk kebutuhan identifikasi alat praktik pada lingkungan hanggar pendidikan penerbangan.

4.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi pada *Smart Tool Management System* dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Pengujian meliputi pengujian fungsional menggunakan metode *Black Box Testing* dan pengujian penerimaan pengguna menggunakan *User Acceptance Testing* (UAT).

4.3.1 Black Box Testing

Pengujian *Black Box* dilakukan untuk memverifikasi fungsi-fungsi utama sistem berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan tanpa memperhatikan proses internal program. Pengujian dilakukan pada seluruh fitur utama yang terlibat dalam proses peminjaman dan pengembalian alat praktik.

Tabel 4.3 Pengujian Black Box

No.	Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	Katalog Alat	Menampilkan katalog alat	Sistem menampilkan daftar alat dan status inventaris pada setiap drawer	Daftar alat dan status inventaris pada setiap drawer berhasil ditampilkan	Pass
2	Pemilihan <i>Drawer</i>	Memilih salah satu <i>drawer</i>	Sistem menampilkan halaman transaksi sesuai <i>drawer</i> yang dipilih	Halaman transaksi berhasil ditampilkan sesuai <i>drawer</i> yang dipilih	Pass
3	Autentikasi RFID	Menempelkan kartu RFID yang terdaftar	Sistem membaca identitas pengguna dan menampilkan informasi pengguna	Informasi pengguna berhasil ditampilkan setelah autentikasi RFID	Pass
4	Memulai Transaksi	Menekan tombol <i>START</i> setelah autentikasi berhasil	Sistem memulai sesi transaksi dan mengaktifkan deteksi alat	Sesi transaksi berhasil dimulai dan proses deteksi alat aktif	Pass
5	Deteksi Alat	Mengambil atau mengembalikan alat selama transaksi	Sistem mendeteksi perubahan kondisi alat dan memperbarui status alat	Perubahan kondisi alat berhasil terdeteksi dan status alat diperbarui	Pass

6	Verifikasi Manual	Menekan tombol <i>FINISH</i> setelah transaksi selesai	Sistem menampilkan halaman verifikasi manual	Halaman verifikasi manual berhasil ditampilkan	<i>Pass</i>
7	Penyimpanan Data	Menyimpan hasil verifikasi	Sistem menyimpan data transaksi ke SQLite Database	Data transaksi berhasil tersimpan pada SQLite Database	<i>Pass</i>
8	Integrasi MQTT	Transaksi berhasil disimpan	Sistem mengirimkan data transaksi ke broker MQTT	Data transaksi berhasil dikirim ke broker MQTT	<i>Pass</i>
9	Dashboard Monitoring	Data diterima oleh Home Assistant	Dashboard menampilkan informasi transaksi dan status alat secara <i>real-time</i>	Informasi transaksi dan status alat berhasil ditampilkan secara <i>real-time</i> pada Home Assistant	
10	Laporan Transaksi	Menyelesaikan transaksi	Sistem menyimpan riwayat transaksi yang dapat diekspor ke Microsoft Excel	Riwayat transaksi berhasil disimpan dan diekspor ke Microsoft Excel	<i>Pass</i>

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, seluruh fitur utama pada *Smart Tool Management System* dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan sistem. Halaman katalog alat berhasil menampilkan informasi inventaris dan status alat pada setiap *drawer*. Fitur pemilihan *drawer* juga mampu mengarahkan pengguna ke halaman transaksi yang sesuai.

Proses autentikasi RFID berhasil mengenali identitas pengguna yang terdaftar sehingga hanya pengguna yang memiliki akses yang dapat melakukan transaksi. Setelah autentikasi berhasil dilakukan, sistem dapat memulai sesi transaksi dan mengaktifkan proses deteksi alat menggunakan kamera dan model YOLO11n.

Selama proses transaksi berlangsung, sistem mampu mendeteksi perubahan kondisi alat pada *drawer* dan memperbarui status alat berdasarkan hasil deteksi. Ketika transaksi selesai, sistem menampilkan halaman verifikasi manual yang memungkinkan *Captain Course* melakukan koreksi apabila terdapat ketidaksesuaian hasil deteksi dengan kondisi aktual.

Setelah proses verifikasi selesai, data transaksi berhasil disimpan ke dalam basis data SQLite dan dikirimkan ke *dashboard Home Assistant* melalui protokol MQTT. Informasi yang dikirim meliputi identitas pengguna, *drawer* yang digunakan, status sesi, status alat, dan riwayat transaksi. Berdasarkan hasil pengujian

tersebut dapat disimpulkan bahwa seluruh fungsi utama sistem telah berjalan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.

4.3.2 User Acceptance Testing (UAT)

User Acceptance Testing (UAT) dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap *Smart Tool Management System*. Pengujian dilakukan dengan melibatkan 10 mahasiswa Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam yang telah mengikuti kegiatan praktikum dan memahami proses peminjaman serta pengembalian alat praktik di hanggar.

Responden diminta menggunakan sistem dan memberikan penilaian terhadap beberapa aspek yang berkaitan dengan kemudahan penggunaan, tampilan antarmuka, kecepatan sistem, kemudahan monitoring inventaris, serta manfaat sistem dalam mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat. Setelah menggunakan sistem, responden memberikan penilaian terhadap setiap pernyataan menggunakan skala Likert 1–5.

Tabel 4 4 Hasil Rekapitulasi UAT

No	Pernyataan	Total Skor	Rata-rata
1	Sistem mudah digunakan dalam proses peminjaman dan pengembalian alat	40	4,0
2	Tampilan antarmuka sistem mudah dipahami	43	4,3
3	Informasi katalog alat dan status inventaris mudah dipahami	44	4,4
4	Proses autentikasi RFID berjalan dengan baik	44	4,4
5	Sistem membantu mempermudah proses pencatatan alat yang dipinjam atau dikembalikan	39	3,9
6	Fitur verifikasi manual membantu mengurangi kesalahan hasil deteksi alat	44	4,4
7	Dashboard monitoring memudahkan pemantauan status alat secara <i>real-time</i>	40	4,0
8	Informasi transaksi yang ditampilkan sistem sudah sesuai kebutuhan pengguna	41	4,1
9	Sistem membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan alat praktik dibandingkan metode manual	39	3,9
10	Secara keseluruhan sistem layak digunakan	40	4,0
Total		414	4,14

Perhitungan Nilai UAT

Jumlah responden = 10 orang

Jumlah pertanyaan = 10 pertanyaan

Skor maksimum =

$$10 \times 10 \times 5 = 500$$

Total skor yang diperoleh =

414

Nilai UAT dihitung menggunakan persamaan:

$$Persentase = \frac{\sum skor aktual}{\sum skor maksimum} \times 100\%$$

$$UAT (\%) = \frac{414}{500} \times 100\%$$

$$UAT (\%) = 82,8\%$$

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai UAT sebesar **82,8%** yang termasuk dalam kategori **Sangat Baik**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Smart Tool Management System* dapat diterima dengan baik oleh pengguna dan dinilai mampu mendukung proses pengelolaan alat praktik di hanggar.

Nilai tertinggi diperoleh pada aspek informasi katalog alat, proses autentikasi RFID, dan fitur verifikasi manual dengan rata-rata skor sebesar 4,4. Hal ini menunjukkan bahwa responden merasa sistem mampu memberikan informasi inventaris yang jelas, proses autentikasi yang mudah digunakan, serta mekanisme verifikasi manual yang membantu mengurangi kesalahan hasil deteksi alat.

Sementara itu, aspek pencatatan alat yang dipinjam atau dikembalikan serta peningkatan efisiensi pengelolaan alat memperoleh rata-rata skor sebesar 3,9. Meskipun masih berada pada kategori baik, hasil ini menunjukkan bahwa masih terdapat peluang pengembangan sistem untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan efektivitas proses pengelolaan inventaris.

Secara keseluruhan, hasil UAT menunjukkan bahwa *Smart Tool Management System* telah memenuhi kebutuhan pengguna dan layak diterapkan untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik pada Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara Politeknik Negeri Batam.

BAB V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini berhasil mengembangkan *Smart Tool Management System* untuk mendukung proses peminjaman dan pengembalian alat praktik pada Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara (TPPU) Politeknik Negeri Batam. Sistem mengintegrasikan teknologi RFID sebagai autentikasi pengguna, YOLO11n sebagai metode deteksi alat, SQLite Database sebagai media penyimpanan data, MQTT sebagai protokol komunikasi data, serta *Home Assistant* sebagai *dashboard monitoring*.
2. Model YOLO11n berhasil digunakan untuk mendeteksi alat pada *drawer* penyimpanan dan mampu mengidentifikasi perubahan kondisi alat selama proses transaksi berlangsung. Berdasarkan hasil evaluasi model, YOLO11n memperoleh nilai *Precision* sebesar 84,3%, *Recall* sebesar 87,7%, *F1-Score* sebesar 86,0%, dan *mAP@50* sebesar 92,1%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model memiliki performa yang baik untuk mendukung proses identifikasi alat secara otomatis pada *Smart Tool Management System*.
3. Sistem mampu mencatat aktivitas peminjaman dan pengembalian alat melalui autentikasi RFID serta menyimpan data transaksi ke dalam SQLite Database. Data transaksi kemudian dikirimkan ke *Home Assistant* melalui MQTT sehingga informasi status alat dan aktivitas pengguna dapat dipantau secara *real-time*.
4. Fitur verifikasi manual yang diterapkan pada sistem memungkinkan pengguna melakukan validasi terhadap hasil deteksi sebelum data disimpan ke database. Mekanisme ini membantu mengurangi kesalahan pencatatan inventaris akibat ketidaksesuaian hasil deteksi dengan kondisi aktual di lapangan.
5. Berdasarkan hasil pengujian *Black Box*, seluruh fitur utama sistem berhasil berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang telah dirancang. Selain itu, hasil *User Acceptance Testing* (UAT) yang melibatkan 10 responden memperoleh nilai sebesar 82,8% dengan kategori Sangat Baik, sehingga menunjukkan bahwa sistem dapat diterima dan dinilai layak digunakan untuk mendukung pengelolaan inventaris alat praktik

5.2 Keterbatasan Penelitian

Meskipun sistem yang dikembangkan telah berhasil diimplementasikan dan diuji, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu:

1. Performa deteksi alat masih dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, posisi alat, dan kemungkinan terjadinya *occlusion* ketika alat tertutup oleh tangan pengguna selama proses transaksi berlangsung.
2. Sistem saat ini hanya mampu melakukan *monitoring* status alat pada area *drawer* penyimpanan dan belum dapat melakukan pelacakan lokasi alat setelah digunakan di area praktikum.
3. Proses validasi akhir transaksi masih memerlukan verifikasi manual oleh pengguna untuk memastikan kesesuaian hasil deteksi dengan kondisi aktual. Oleh karena itu, sistem belum sepenuhnya berjalan secara otomatis.
4. Pengujian sistem dilakukan pada lingkungan Hanggar Program Studi Teknik Perawatan Pesawat Udara dengan jumlah drawer dan jenis alat yang terbatas sehingga performa sistem pada lingkungan yang lebih besar belum dievaluasi secara menyeluruh.

5.3 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model deteksi objek dengan jumlah dataset yang lebih besar dan variasi kondisi pencahayaan yang lebih beragam untuk meningkatkan akurasi deteksi alat.
2. Menambahkan fitur pelacakan lokasi alat secara *real-time* sehingga sistem tidak hanya mampu mengetahui status alat dipinjam atau tersedia, tetapi juga dapat mengetahui lokasi alat setelah digunakan.
3. Menambahkan fitur notifikasi otomatis melalui dashboard monitoring atau perangkat seluler ketika terjadi keterlambatan pengembalian alat atau terdapat alat yang belum dikembalikan.
4. Melakukan implementasi dan pengujian sistem pada skala yang lebih besar dengan jumlah drawer dan jenis alat yang lebih banyak untuk mengevaluasi performa sistem pada lingkungan operasional yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Kurnianto, "Dinamika Pendidikan Tinggi Vokasi Penerbangan Merespon Isu Industri 4.0," *ANALISIS SISTEM PENDIDIKAN TINGGI*, vol. VOL. 3 NO. 2, pp. 81-88, 2019.
- [2] A. Ardian, S. M. and J. , "Management analysis of workshop equipment and laboratory in vocational education," *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
- [3] H. Ali, "The Strategic Implementation Asset Management System Basis ISO 55000: A Case Study On Indonesian Railways Company," *Journal of Business and Management Review*, vol. Vol. 2 No. 3, pp. 226-244, 2021.
- [4] O. Candell, R. Hällqvist, E. Olsson, T. Fransson, A. Thaduri and R. Karim, "Air vehicle system health and asset management: modeling, simulation, and decision support," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2024.
- [5] K. A. Habib and C. Turkoglu, "Analysis of Aircraft Maintenance Related Accidents and Serious Incidents in Nigeria," *aerospace*, 2020.
- [6] B. Hilburn and P. B. , "FOREIGN OBJECT DEBRIS DETECTION SYSTEM COST-BENEFIT ANALYSIS," Federal Aviation Administration, 2023.
- [7] R. Hussin, N. I. and S. M. , "A study of foreign object damage (FOD) and prevention method at the airport and aircraft maintenance area," *Innovation in Aerospace Engineering and Technology*, 2016.
- [8] T. Paksoy and . S. Demir, *Smart and Sustainable Operations Management in the Aviation IndustryA Supply Chain 4.0 Perspective*, CRC Press, 2025.
- [9] F. M. Sarimole, S. W. Yudha, S. and R. A. Akmal, "Implementation of an RFID Card-Based Automatic Door Lock System Using NodeMCU with Integration of Telegram Notifications and IoT Services," *International Journal of Applied Mathematics and Computing*, vol. 2, 2025.
- [10] N. Zendehdel, H. Chen and M. C. Leu, "Real-time tool detection in smart manufacturing using You-Only-Look-Once (YOLO)v5," *Manufacturing Letters*, pp. 1052-1059, 2023.
- [11] D. Witczak and S. Szymoniak , "Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things," *MDPI*, 2024.
- [12] M. L. Ali and Z. Zhang , "The YOLO Framework: A Comprehensive Review of Evolution, Applications, and Benchmarks in Object Detection," *MDPI*, 2024.

- [13] ISO, "ISO 55000:2024 Asset management — Vocabulary, overview and principles," [Online]. Available: <https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/published/iso-55000.html>.
- [14] Y. Wang, "Digital Transformation of Vocational Education: Connotation, Challenges and Pathways," *Region-Educational Research and Reviews*, vol. 6, no. 12, 2024.
- [15] M. Schreiber, N. Weisbrod, A. Ziegenbein and J. Metternich , "Tool management optimisation through traceability and tool wear prediction in the aviation industry," *Production Engineering*, vol. 17, 2023.
- [16] Y. Biçen and F. ARAS, "Smart asset management system for power transformers coupled with online and offline monitoring technologies," *Engineering Failure Analysis*, vol. 154, 2023.
- [17] M. E. Bounjimi and G. Abdul-Nour, "Smart Asset Management in Power Industry: A Review of The Key Technologies," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 10, no. 10, 2021.
- [18] I. Kabashkin and V. Perekrestov, "Ecosystem of Aviation Maintenance: Transition from Aircraft Health Monitoring to Health Management Based on IoT and AI Synergy," *MDPI*, 2024.
- [19] M. R. Ramadhan, R. K. Lesmana, F. S. Siregar, R. Ridho and M. H. I. Isnain, "Rancangan Teknologi RFID Gerbang Parkir Pada UINSU Medan," *Jurnal Jurnal Sains Dan Teknologi (JSIT)*, vol. Vol. 3 No. 1, pp. 12-18, 2023.
- [20] S. Rakshit and D. S. S. S. , "Asset Management Security System Using RFID Technology," *International Journal of Engineering & Technology*, 2018.
- [21] M. Trigka and E. Dritsas, "A Comprehensive Survey of Machine Learning Techniques and Models for Object Detection," *MDPI*, 2024.
- [22] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications* 2nd Edition, 2021.
- [23] S. Ren, K. He, G. Girshick and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," *arXiv*, 2016.
- [24] G. Jocher, J. Qiu, . M. Liu, S. Lyu, F. C. Akyon and M. . E. Kalfaoglu, "Ultralytics YOLO26: Unified Real-Time End-to-End Vision Models," *arXiv*, 2026.
- [25] "Ultralytics YOLO 11," Ultralytics, 2024. [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com/models/yolo11>.
- [26] F. Azzedin and T. Alhazmi , "Secure Data Distribution Architecture in IoT Using MQTT," *MDPI*, 2023.

- [27] A. Cho, T. Kim, C. K. Kim, S. Choi and S. Lee, "IoT data dissemination scheme for reducing delay in multi-broker environments," *ScienceDirect*, vol. 25, 2024.
- [28] P. Bąk and G. Koziel, "Comparative analysis of smart home management systems," *Journal of Computer Sciences Institute*, vol. 31, pp. 73-81, 2024.
- [29] Y. Khomenko and S. Babichev, "Modular IoT Architecture for Monitoring and Control of Office Environments Based on Home Assistant," *MDPI*, 2025.
- [30] R. Elmasri and S. B. Navathe, *FUNDAMENTALS OF Database Systems SEVENTH EDITION*, 2015.
- [31] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 2019.
- [32] M. Hehua, "Application of Passive Wireless RFID Asset Management in Warehousing of Cross-Border E-Commerce Enterprises," *Journal of Sensors*, 2021.
- [33] E. Tavanti, P. Nepa, R. Gabbrielli and M. Pirozzi, "Review on Systems Combining Computer Vision and Radio Frequency Identification," *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, vol. 12 no.2, 2025.
- [34] S. Chomean, N. Khemtonglang, E. Mukda and C. Kaset, "AI-powered body fluid cell classification: Development and validation using Roboflow and YOLOv11n framework," *Telematics and Informatics Reports*, 2025.
- [35] A. A. Alajami and R. Pous, "The Design of a Vision-Assisted Dynamic Antenna Positioning Radio Frequency Identification-Based Inventory Robot Utilizing a 3-Degree-of-Freedom Manipulator," *MDPI*, 2025.
- [36] J. Cujilema, G. H. D. H.´-R. and J. C. , "Secure Home Automation System based on ESP-NOW Mesh Network, MQTT and HomeAssistant Platform," *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*,, vol. 21 no.7, 2023.
- [37] A. A. Wahid, "Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi," *Jurnal Ilmu-ilmu Informatika dan Manajemen STMIK*, 2020.
- [38] I. Sommerville, *Software Engineering*, 2016.
- [39] ultralytic, "Performance Metrics YOLO," 2023. [Online]. Available: <https://docs.ultralytics.com/guides/yolo-performance-metrics>.