

**SMARTKLON : SISTEM PENGELOLAAN KETERSEDIAAN STOK
BARANG PADA GUDANG PENYIMPANAN TOKO KELONTONG
DENGAN MENGGUNAKAN RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION**

LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK KOMPUTER

DELA WERANDA

2211511010



DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Eng. Rian Ferdian, M.T

NIP : 198609162014041001

**DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS ANDALAS**

PADANG

2026

**SMARTKLON : SISTEM PENGELOLAAN KETERSEDIAAN STOK
BARANG PADA GUDANG PENYIMPANAN TOKO KELONTONG
DENGAN MENGGUNAKAN RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION**

LAPORAN TUGAS AKHIR

UNIVERSITAS ANDALAS

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Sarjana Pada Jurusan
Teknik Komputer Universitas Andalas*

DELA WERANDA

2211511010



**DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS ANDALAS**

PADANG

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Dela Weranda
No.BP : 2211511010
Judul Tugas Akhir : Sistem Pengelolaan Stok Barang Pada Gudang Penyimpanan Toko Kelontong Dengan Menggunakan Radio Freaquency Identification

Tugas Akhir ini disetujui oleh Dosen Pembimbing dan disahkan oleh Ketua Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi Universitas Andalas.

Demikianlah lembaran pengesahan ini dibuat untuk diketahui bersama.

Padang, 20 Agustus 2026

Pembimbing



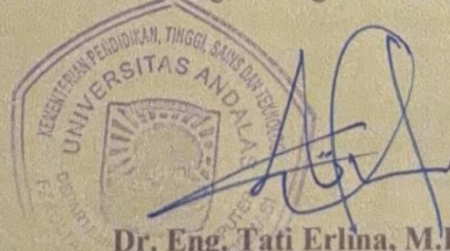
Dr. Eng. Rian Ferdian, M.T

NIP. 198609162014041001

Mengetahui :

Ketua Departemen Teknik Komputer
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Andalas

Padang, 20 Agustus 2026



Dr. Eng. Tati Erlina, M.I.T

NIP. 197804142002122003

LEMBARAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Dengan ini dinyatakan bahwa :

Nama : Dela Weranda

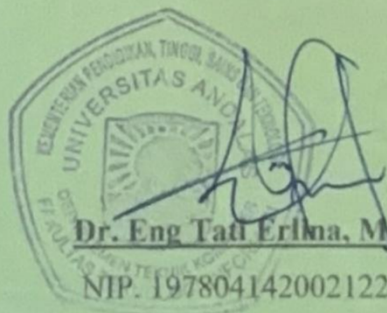
No.BP : 2211511010

Judul Tugas Akhir : Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Barang Pada Gudang
Penyimpanan Toko Kelontong Dengan Menggunakan Radio
Frequency Identification

Telah diujikan dan telah disetujui Seminar Hasil Tugas Akhirnya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) melalui Sidang Tugas Akhir yang diadakan pada tanggal 22 Juli 2026 berdasarkan ketentuan yang berlaku.

Mengetahui :

Ketua Departemen Teknik Komputer
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Andalas
Padang, 20 Agustus 2026



Dr. Eng Tad Erlina, M.I.T.
NIP. 197804142002122003

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir dengan judul "Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Barang Pada Gudang Penyimpanan Toko Kelontong Dengan Menggunakan Radio Frequency Identification" adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana, Magister, dan Doktor), baik di Universitas Andalas maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Tugas Akhir ini murni gagasan dan rancangan saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali bantuan dan arahan dari tim pembimbing.
3. Tugas Akhir ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan dalam tulisan saya dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan lain yang berlaku.

Demikianlah surat ini dibuat, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Padang, 20 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Dela Weranda
2211511010

HALAMAN PERSEMBAHAN

Di antara seluruh halaman dalam skripsi ini, lembar persembahan Adalah halaman yang paling bermakna, karna disinilah penulis menitipkan rasa terimakasih yang tidak mampu terucap oleh kata-kata. Bismillahirrahmanirrahin, karya ini penulis persembahkan kepada:

Keluarga Tercinta

Teristimewa buat kedua orangtua tercinta, Ayah dan Ibu, yang tiada hentinya melangitkan doa baiknya serta memberikan dukungan kepada anak perempuannya ini dalam memperjuangkan masa depan. Walaupun tidak sempat merasakan untuk duduk dibangku perkuliahan, namun selalu berusaha bekerja keras untuk memberikan yang terbaik kepada putrinya. Dan terima kasih untuk adikku tersayang Irma Kesin, abang, dan incim atas dukungan, dan doanya dari awal hingga penulis menyelesaikan karya ini.

Dosen Pembimbing

Atas semua arahan, kesabaran, dan bimbingan berharga di setiap proses penyusunan karya ini saya ucapkan Terima kasih, telah membentuk cara berpikir kritis dan standar integritas ilmiah yang tidak hanya berguna untuk tugas akhir ini, tetapi juga bagi masa depan saya. Bapak dan ibu akan selalu menjadi teladan terbaik bagi langkah dan perjalanan saya ke depan.

Seluruh Dosen DTK

Teruntuk Bapak dan Ibu Dosen yang telah menjadi jembatan ilmu selama menempuh perjalanan yang jauh ini. Terima kasih atas pengetahuan, wawasan, dan bimbingan yang telah menjadikan pondasi yang kokoh bagi saya.

Bank Indonesia dan GenBI

Terima kasih telah memberi kesempatan kepada saya untuk terus melangkah, tidak jarang saya merasa kecil dan ragu di tengah perjalanan ini, namun mengingat dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan, saya kembali menemukan semangat untuk terus berjuang hingga akhir sampai pada titik ini.

Kerang Waring

Teruntuk sahabat tercintaku Caca, Indy, dan Ika yang selalu setia menemani perjalanan dari bangku SMA hingga saat ini, Terima kasih tetap menjadi support system terbaik, tidak pernah bosan mendengar keluh kesah saya, dan selalu menyediakan pelukan hangat di saat aku merasa sendirian. Kalian adalah tempatku pulang ketika dunia terasa berat. Terimakasih telah percaya padaku, bahkan di saat aku sendiri sempat ragu pada diriku sendiri. Kalian mengajarkan arti persahabatan yang sesungguhnya.

Exynos 22

Teman-teman satu angkatan yang menjadi bagian dari perjalanan hidupku, terima kasih untuk setiap tawa, keluh kesah, hingga begadang bersama. Terima kasih telah menjadi pengingat bahwa perjalanan yang berat dan penuh perjuangan ini tidak pernah dilalui sendirian.

Mon Amour

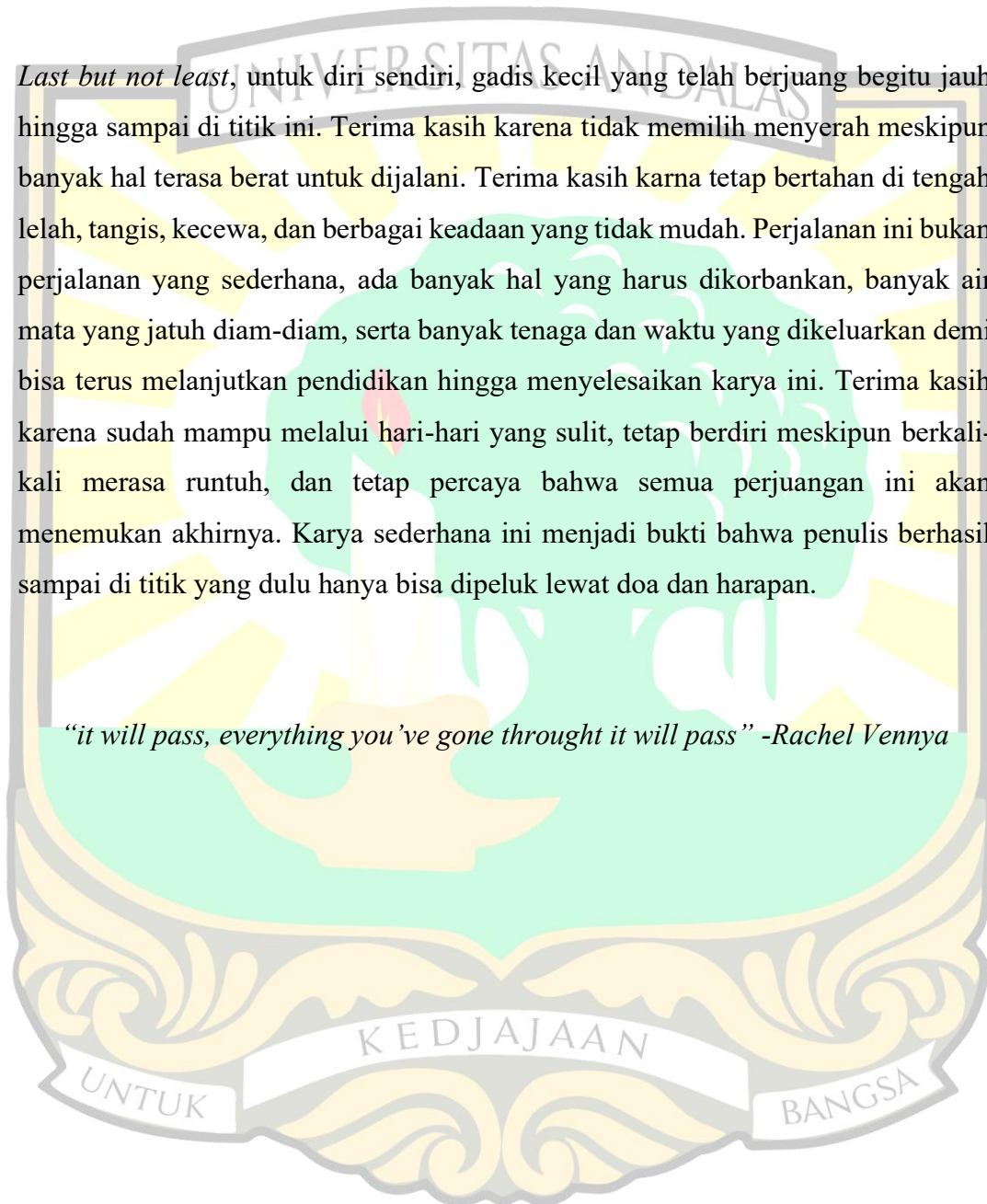
Seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, yaitu tuan Yoga Pamungkas sebagai partner sejak tahun 2022, Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan selama proses perjalanan dari awal masuk kuliah hingga proses penyelesaian karya ini. Terima kasih untuk setiap “semangat sayang” yang terucap terutama disaat saya merasa lelah, kehilangan arah, dan mulai meragukan kemampuan saya sendiri. Terimakasih karena selalu mengingatkan saya untuk menyelesaikan apa yang telah saya mulai, Terima kasih telah menjadi seseorang yang mengajarkan saya bahwa terkadang bersama bukan hanya tentang bahagia, tetapi juga tentang bertahan,

bersabar, dan terus berusaha ketika keadaan menguji seberapa kuat kita menggenggam satu sama lain. Tugas akhir ini selesai, dan aku beruntung kamu ada di dalam prosesnya.

Diri Sendiri

Last but not least, untuk diri sendiri, gadis kecil yang telah berjuang begitu jauh hingga sampai di titik ini. Terima kasih karena tidak memilih menyerah meskipun banyak hal terasa berat untuk dijalani. Terima kasih karena tetap bertahan di tengah lelah, tangis, kecewa, dan berbagai keadaan yang tidak mudah. Perjalanan ini bukan perjalanan yang sederhana, ada banyak hal yang harus dikorbankan, banyak air mata yang jatuh diam-diam, serta banyak tenaga dan waktu yang dikeluarkan demi bisa terus melanjutkan pendidikan hingga menyelesaikan karya ini. Terima kasih karena sudah mampu melalui hari-hari yang sulit, tetap berdiri meskipun berkali-kali merasa runtuh, dan tetap percaya bahwa semua perjuangan ini akan menemukan akhirnya. Karya sederhana ini menjadi bukti bahwa penulis berhasil sampai di titik yang dulu hanya bisa dipeluk lewat doa dan harapan.

“it will pass, everything you’ve gone through it will pass” -Rachel Vennya



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **"Sistem Pengelolaan Stok Barang Pada Gudang Penyimpanan Toko Kelontong Dengan Menggunakan Radio Freaquency Identification"** dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis sejak awal menempuh studi di Universitas Andalas.
2. Dosen Pembimbing Tugas Akhir Bapak Dr. Eng. Rian Ferdian, M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing, mengarahkan, serta memberikan masukan yang sangat berharga selama proses pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini.
3. Dosen Pembimbing Akademik Ibu Dr. Eng. Tati Erlina, M.I.T dan Bapak Arrya Anandika, M.T, yang telah menuntun penulis dari awal menjalankan studi di departemen Teknik Komputer.
4. Ibu Nefy Puteri Novani, M.T dan Ibu Desta Yolanda, M.T, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Komputer yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat dan membantu berbagai urusan selama masa perkuliahan.

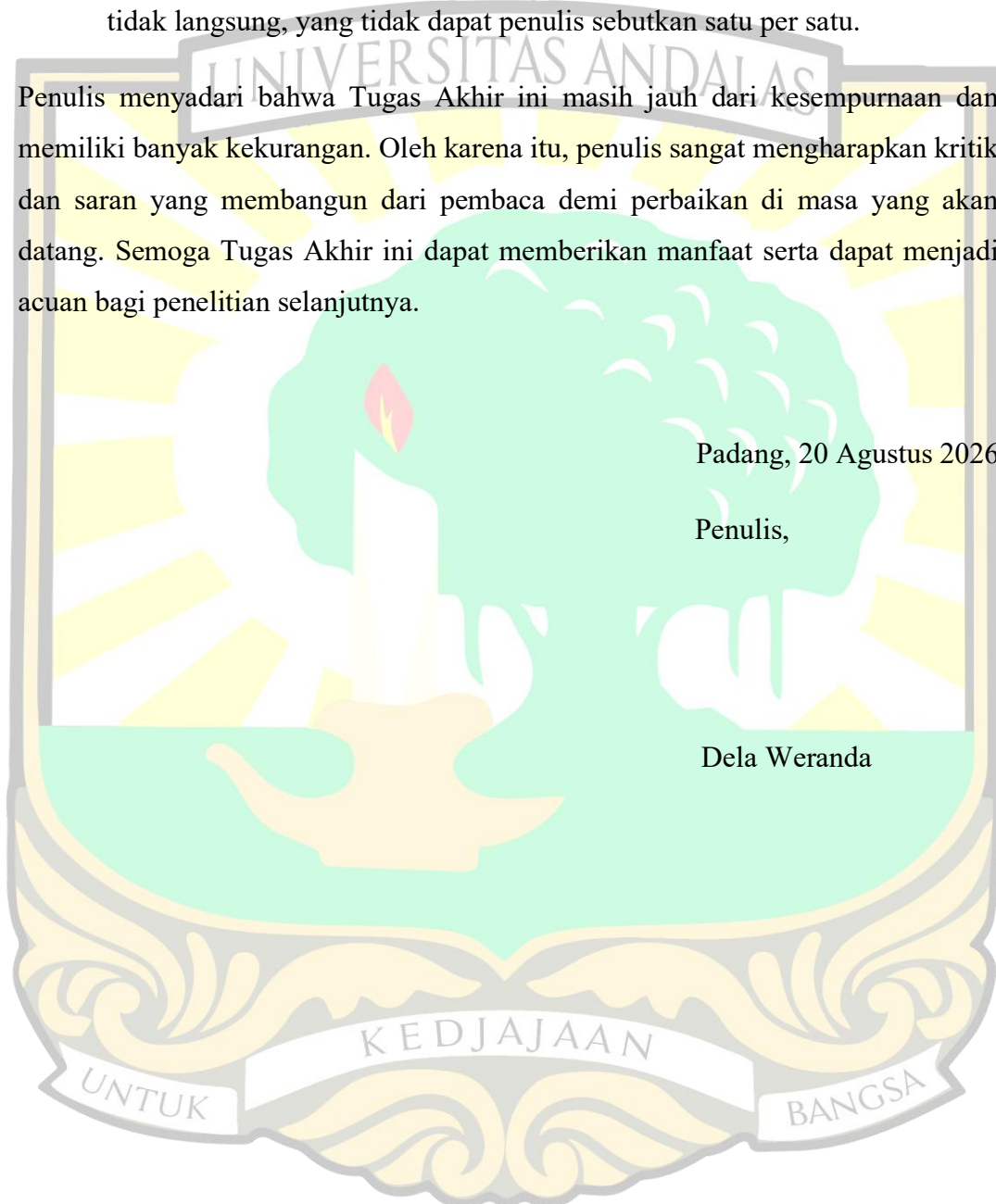
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Komputer angkatan 2022 yang selalu memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Serta semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

Padang, 20 Agustus 2026

Penulis,

Dela Weranda



SISTEM PENGELOLAAN KETERSEDIAAN STOK BARANG PADA GUDANG PENYIMPANAN TOKO KELONTONG DENGAN MENGUNAKAN RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

Dela Weranda¹, Dr.Eng. Rian Ferdian, M.T²

*¹Mahasiswa Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi,
Universitas Andalas*

*²Dosen Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas
Andalas*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem manajemen persediaan stok berbasis Ultra-High Frequency (UHF) Radio Frequency Identification (RFID) pada SMARTKLON Subsystem 3 untuk mengelola persediaan barang di gudang toko kelontong. Sistem mengintegrasikan pembaca UHF RFID, ESP32, web server Laravel, MySQL, dan WebSocket untuk mendukung sinkronisasi data secara real-time. Pengujian dilakukan terhadap kinerja pembacaan RFID pada jarak 1–8 meter, pencatatan transaksi, waktu respons sinkronisasi, konsistensi data, dan notifikasi audio-visual. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pembacaan RFID sebesar 95% pada jarak 1–8 meter dan 100% pada jarak 1–7 meter. Sistem berhasil mencatat 102 transaksi dalam satu hari tanpa kehilangan data, dengan waktu respons sinkronisasi rata-rata 1,92 detik. Data stok pada database dan dashboard website juga memiliki konsistensi 100% tanpa perlu penyegaran halaman secara manual. Dengan demikian, sistem mampu mengotomatisasi pencatatan persediaan, meningkatkan ketertelusuran produk, dan menyediakan informasi stok secara real-time.

Kata kunci: UHF RFID, manajemen persediaan, ESP32, sinkronisasi real-time, SMARTKLON.

STOCK AVAILABILITY MANAGEMENT SYSTEM FOR GROCERY STORE STORAGE WAREHOUSES USING RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

Dela Weranda¹, Dr.Eng. Rian Ferdian, M.T.²

*¹Undergraduate Student, Department of Computer Engineering, Faculty of
Information Technology, Universitas Andalas*

*²Lecturer, Department of Computer Engineering, Faculty of Information
Technology, Universitas Andalas*

ABSTRACT

This study aims to design and evaluate a stock inventory management system based on Ultra-High Frequency (UHF) Radio Frequency Identification (RFID) for SMARTKLON Subsystem 3 to manage inventory in a grocery store storage warehouse. The developed system integrates a UHF RFID reader, ESP32 microcontroller, Laravel-based web server, MySQL database, and WebSocket to support real-time data synchronization. The system was evaluated through end-to-end testing by measuring RFID reading performance at distances of 1–8 meters, the ability to record more than 100 transactions per day, data update response time, data consistency between the database and website, and the reliability of local audio-visual notifications. The test results showed that the system achieved an RFID reading accuracy of 95% at distances of 1–8 meters and 100% accuracy at distances of 1–7 meters. The system successfully recorded 102 transactions in one day, consisting of 45 incoming and 57 outgoing transactions, without data loss. The real-time synchronization mechanism achieved an average response time of 1.92 seconds. In addition, the stock quantity data in the database and website dashboard showed 100% consistency without requiring manual page refreshes. Therefore, the system is capable of automating inventory recording, improving product traceability, and providing real-time stock information.

Keywords: UHF RFID, inventory management, ESP32, real-time synchronization, SMARTKLON.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pengenalan Masalah.....	1
1.1.1 Informasi Pendukung Masalah.....	4
1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain.....	9
1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi.....	14
1.1.4 Tujuan	17
1.2 Solusi.....	18
1.2.1 Karakteristik Produk	18
1.2.2 Usulan Solusi	24
1.2.3 Analisis Usulan Solusi	43
1.2.4 Solusi yang Dipilih.....	63
BAB II SPESIFIKASI.....	64
2.1 Spesifikasi Produk.....	64
2.1.1 Spesifikasi Produk Subsistem 1	64
2.1.2 Spesifikasi Produk Subsistem 2: Kedaluwarsa	95
2.1.3 Spesifikasi Produk Subsistem 3	109

2.2 Analisis Kebutuhan Daya.....	124
2.2.1 Analisis Kebutuhan Daya Subsistem 1	124
2.2.2 Analisis Kebutuhan daya Subsistem 2	130
2.2.3 Analisis Konsumsi Daya Subsistem 3.....	132
2.3 Verifikasi.....	135
2.3.1 Verifikasi Subsistem 1	135
2.3.2 Verifikasi Subsistem 2	138
2.3.3 Verifikasi Subsistem 3	139
2.4 Perencanaan Pasar.....	142
2.4.1 Perkiraan Biaya	142
2.4.2 Analisis Finansial.....	148
2.4.2.1 Analisis SWOT	148
2.4.2.2 Analisis Kelayakan Finansial	153
BAB III RANCANGAN	163
3.1 Rancangan Umum Sistem.....	163
3.1.1 Rancangan Umum Subsistem 1	164
3.1.2 Rancangan Umum Subsistem 2	169
3.1.3 Rancangan Umum Subsistem 3	170
3.2 Rancangan Proses.....	174
3.2.1 Rancangan Proses Subsistem 1	174
3.2.2 Rancangan Proses Subsistem 2	200
3.2.3 Rancangan Proses Subsistem 3	206
3.3 Rancangan Detail Komponen Proses.....	213
3.3.1 Rancangan Perangkat Keras.....	213
3.3.2 Rancangan Perangkat Lunak.....	218
3.4 Rencana Jadwal Pengerjaan	227

BAB IV	229
IMPLEMENTASI	229
4.1 Implementasi Sistem	229
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras.....	229
4.1.1.1 Perubahan Implementasi Perangkat Keras	229
4.1.1.2 Penjabaran Pengimplementasian Perangkat Keras	232
4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak.....	235
4.1.2.1 Perubahan Alur Proses Sistem	235
4.1.2.1 Implementasi Program ESP32	239
4.1.2.2 Implementasi Konfigurasi UHF Reader HW-VX6330K.....	242
4.1.2.3 Perubahan Implementasi Database	245
4.1.2.4 Implementasi Website.....	250
4.2 Pengujian Sistem.....	257
4.2.1 Pengujian UHF RFID Reader Electron HW-VX-6330K dan Tag RFID UHF.....	258
4.2.1.1 Langkah Pengujian.....	258
4.2.1.2 Hasil Pengujian	260
4.2.1.3 Analisis Hasil Pengujian	261
4.2.2 Pengujian UHF RFID Reader dan ESP32.....	262
4.2.2.1 Langkah Pengujian.....	262
4.2.2.2 Hasil Pengujian	263
4.2.2.3 Analisis Hasil Pengujian	264
4.2.3 Pengujian ESP32 dan koneksi WiFi	265
4.2.3.1 Langkah Pengujian.....	265
4.2.3.2 Hasil Pengujian	266
4.2.3.3 Analisis Hasil Pengujian	271

4.2.4 Pengujian ESP32 dan Antarmuka Website	271
4.2.4.1 Langkah Pengujian.....	272
4.2.4.2 Hasil Pengujian	273
4.2.4.3 Analisis Hasil Pengujian	274
4.2.5 Pengujian Notifikasi Audio dan Visual pada Perangkat Keras.....	275
4.2.5.1 Langkah Pengujian.....	275
4.2.5.2 Hasil Pengujian	276
4.2.5.3 Analisis Hasil Pengujian	277
4.2.6 Pengujian Keseluruhan Sistem pada Toko Kelontong.....	278
4.2.6.1 Langkah Pengujian.....	278
4.2.6.2 Hasil Pengujian	279
4.2.6.3 Analisis Hasil Pengujian	281
BAB V.....	283
PENUTUP.....	283
5.1 Kesimpulan	283
5.2 Saran.....	283
DAFTAR PUSTAKA	285

DAFTAR GAMBAR

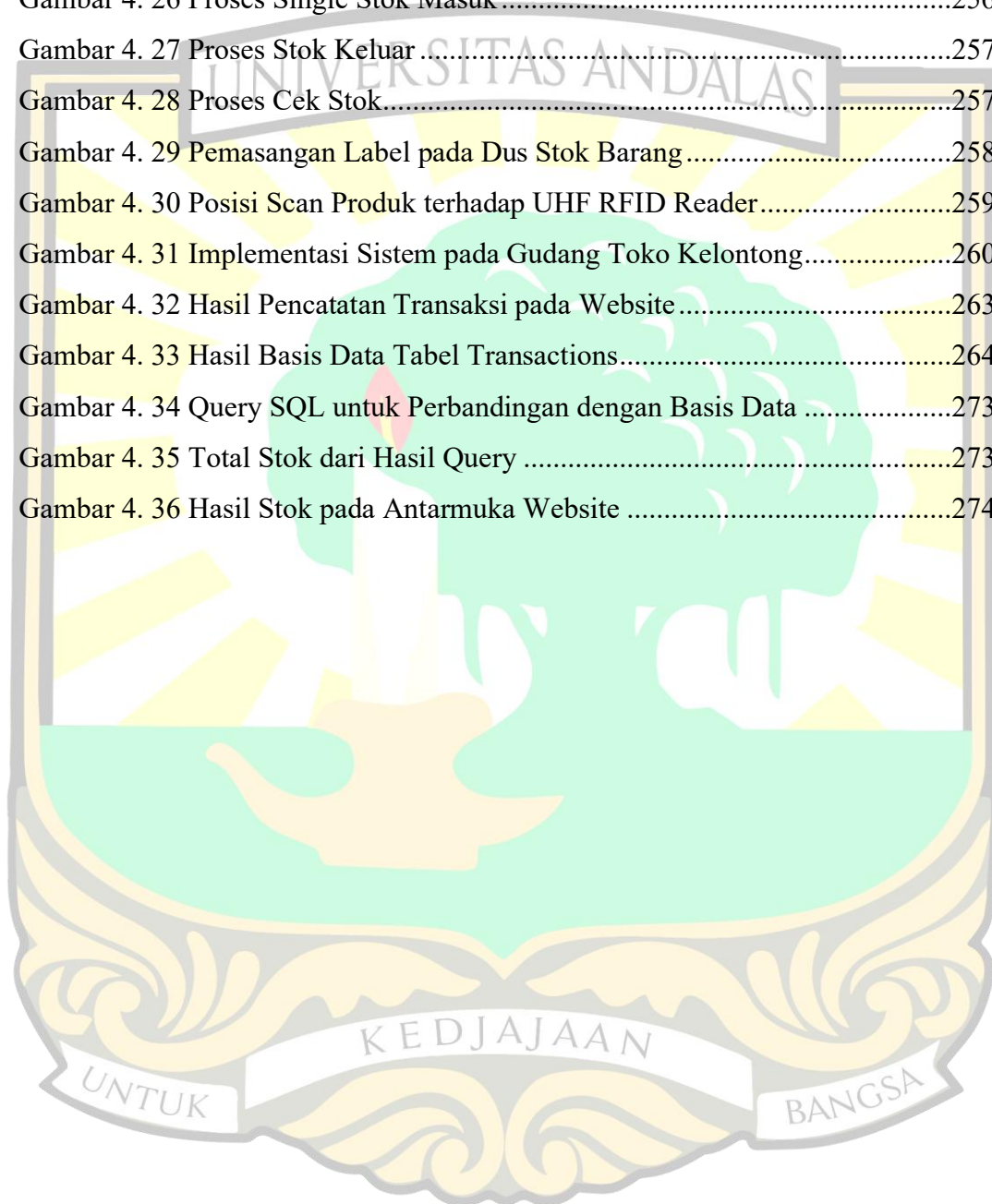
Gambar 1.1 Kegiatan Abnormal Pengambilan Produk tanpa transaksi	2
---	---

Gambar 1.2 Kesalahan Penempatan Produk	3
Gambar 1.3 1D Barcode Specification[9].....	5
Gambar 1.4 Hand Landmark MediaPipe [67].....	25
Gambar 1.5 Landmarks MediaPipe Blaze Pose [68]	25
Gambar 1.6 Konvolusi dalam Convolutional Neural Network.....	26
Gambar 1.7 Cara kerja RFID	27
Gambar 1.8 Cara Kerja Load Cell [24].....	29
Gambar 1.9 Cara kerja barcode.....	31
Gambar 1.10 Cara Kerja OCR	32
Gambar 1.11 Cara kerja RFID	34
Gambar 1.12 Cara Kerja Load Cell.....	36
Gambar 1.13 Alur Kerja RFID.....	38
Gambar 1.14 Alur Kerja Computer Vision	41
Gambar 1.15 Alur Kerja NCF	43
Gambar 2.1 Landmark untuk Framework Mediapipe.....	64
Gambar 2.2 Xiaovv Webcam Full HD 1080p.....	71
Gambar 2.3 Raspberry Pi 5	76
Gambar 2.4 AI KIT Hailo	77
Gambar 2.5 Arsitektur YOLOv8.....	81
Gambar 2.6 LED Strobo LTE1101	85
Gambar 2.7 Adaptor DC 12V 5A	94
Gambar 2.8 UPS Mini DC 12V	95
Gambar 2.9 Raspberry Cam Module 3 [150].....	100
Gambar 2.10 Raspberry Pi 4B [165].....	107
Gambar 2.11 Electron HW-VX6330K UHF Reader RFID [174].....	114
Gambar 2.12 Label EL-UHF-TLB1 [1766]	115
Gambar 2.13 Mikrokontroler ESP32	116
Gambar 2. 14 Software Arduino IDE [183].....	117
Gambar 2.15 Module Converter MAX3232 RS232 [185].....	119
Gambar 2.16 Buzzer aktif 5v	123
Gambar 2.17 LCD 12IC 16x2 [201]	124
Gambar 2.18 Adaptor 12 V 1 A.....	135

Gambar 3.1 Rancangan Umum Sistem	163
Gambar 3.2 Rancangan Umum Subsistem 1	165
Gambar 3.3 Tampak Dalam Rancangan Subsistem 1	166
Gambar 3.4 Gambar Teknik Rancangan Subsistem 1	167
Gambar 3.5 Posisi Penempatan Subsistem 1	168
Gambar 3.6 Rancangan Umum Sistem. (a) Tampilan Alat (b) Tampak Dalam	169
Gambar 3.7 Gambar Teknik Rancangan Subsistem 2	170
Gambar 3.8 Rancangan Umum Sistem 3D	170
Gambar 3.9 Tampak Rancangan Umum Subsistem 3	171
Gambar 3.10 Gambar Teknik Rancangan Umum Sistem	173
Gambar 3.11 Flowchart rancangan proses secara umum	175
Gambar 3.12 Flowchart Proses Training Dataset	178
Gambar 3.13 Flowchart Proses Persiapan Inisialisasi Sistem	181
Gambar 3.14 Proses Penangkapan Data Visual	182
Gambar 3.15 Flowchart Proses Pengolahan Awal Data Visual	185
Gambar 3.16 Flowchart Proses Ekstraksi Pose Manusia Menggunakan MediaPipe	187
Gambar 3.17 Flowchart proses klasifikasi aktivitas	190
Gambar 3.18 <i>Flowchart</i> proses evaluasi perubahan kondisi rak	192
Gambar 3.19 Flowchart Untuk Kondisi Kehilangan Barang	193
Gambar 3.20 Flowchart Untuk Kondisi Kesalahan Penempatan Barang	195
Gambar 3.21 Flowchart Proses Alert + Logging Data Ke Dashboard	197
Gambar 3.22 Flowchart Proses Monitoring dan Notifikasi melalui <i>dashboard</i>	199
Gambar 3.23 Flowchart Proses Utama Sistem	201
Gambar 3.24 <i>Flowchart</i> Proses Pemindaian <i>Barcode</i>	202
Gambar 3.25 <i>Flowchart</i> Menyiapkan Model Deteksi Tanggal dengan YOLO	203
Gambar 3.26 <i>Flowchart</i> Proses Ekstraksi Teks dengan Tesseract	204
Gambar 3.27 Flowchart Notifikasi Kedaluwarsa pada Produk	205
Gambar 3.28 <i>Flowchart</i> Rancangan proses Secara Umum	207
Gambar 3.29 <i>Flowchart</i> Subproses Pendaftaran Tag	209
Gambar 3.30 <i>Flowchart</i> subproses transaksi Barang	210
Gambar 3.31 <i>Flowchart</i> Subproses ketersediaan Stok Barang	212

Gambar 3.32 Rancangan Perangkat Keras Subsistem 1	213
Gambar 3.33 Rancangan Skematik Diagram Perangkat Keras.....	215
Gambar 3.34 Rancangan Skematik Diagram Perangkat Keras.....	216
Gambar 3.35 Halaman Login Dashboard.....	218
Gambar 3.36 Halaman Utama Dashboard	219
Gambar 3.37 Tampilan dashboard monitoring rak	220
Gambar 3.38 Tampilan Halaman Status Kedaluwarsa	220
Gambar 3.39 Tampilan Halaman Stok Produk	221
Gambar 3.40 Tampilan Log Kejadian.....	221
Gambar 3.41 <i>Use Case</i> Diagram.....	226
Gambar 3.42 Gantt Chart Kegiatan.....	228
Gambar 4.1 Desain Casing yang Diimplementasikan.....	229
Gambar 4.2 Tampak Casing.....	230
Gambar 4. 3 Perubahan Skematik Rangkaian.....	230
Gambar 4.4 Desain Implementasi Penuh Perangkat Keras.....	232
Gambar 4.5 Implementasi Penuh Perangkat Keras.....	233
Gambar 4.6 Pemasangan Tag Label RFID	234
Gambar 4.7 Perubahan Flowchart Proses Keseluruhan Sistem	236
Gambar 4.8 Perubahan Flowchart Subproses Pendaftaran Tag	237
Gambar 4.9 Perubahan Flowchart Subproses Transaksi Barang	238
Gambar 4.10 Struktur Raw Byte RFID Reader	240
Gambar 4.11 Status Standby	242
Gambar 4. 12 Panel Konfigurasi UHF RFID Reader HW-VX6330K.....	243
Gambar 4. 13 Entity Relationship Diagram.....	246
Gambar 4. 14 Struktur Tabel Users.....	247
Gambar 4. 15 Struktur Tabel Items.....	248
Gambar 4. 16 Struktur Tabel Tags.....	249
Gambar 4. 17 Struktur Tabel Transactions	249
Gambar 4. 18 Struktur Tabel Scanner_States	250
Gambar 4. 19 Halaman Login Smartklon	252
Gambar 4. 20 Halaman Dashboard Smartklon	253
Gambar 4. 21 Halaman Ketersediaan Stok	253

Gambar 4. 22 Aksi dan Detail Daftar Stok Produk.....	254
Gambar 4. 23 Daftar RFID Terdaftar.....	255
Gambar 4. 24 Overlay Batch Masuk.....	255
Gambar 4. 25 Proses Menunggu Batch Masuk.....	256
Gambar 4. 26 Proses Single Stok Masuk.....	256
Gambar 4. 27 Proses Stok Keluar.....	257
Gambar 4. 28 Proses Cek Stok.....	257
Gambar 4. 29 Pemasangan Label pada Dus Stok Barang.....	258
Gambar 4. 30 Posisi Scan Produk terhadap UHF RFID Reader.....	259
Gambar 4. 31 Implementasi Sistem pada Gudang Toko Kelontong.....	260
Gambar 4. 32 Hasil Pencatatan Transaksi pada Website.....	263
Gambar 4. 33 Hasil Basis Data Tabel Transactions.....	264
Gambar 4. 34 Query SQL untuk Perbandingan dengan Basis Data.....	273
Gambar 4. 35 Total Stok dari Hasil Query.....	273
Gambar 4. 36 Hasil Stok pada Antarmuka Website.....	274



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Standar Barcode 1D [7].....	15
---------------------------------------	----

Tabel 1.2 Challenging date samples while recognizing expiration dates [9].....	16
Tabel 1.3 House Of Quality Subsistem 1	52
Tabel 1.4 Keterangan Simbol House Of Quality	52
Tabel 1.5 House Of Quality Subsistem 2.....	58
Tabel 1.6 Keterangan Simbol House Of Quality	58
Tabel 1.7 House Of Quality Subsistem 3.....	65
Tabel 1.8 Keterangan Simbol House Of Quality	65
Tabel 2.1 Spesifikasi Produk Subsistem 1	75
Tabel 2.2 Perbandingan Spesifikasi Kamera	77
Tabel 2.3 Perbandingan Spesifikasi Processor.....	82
Tabel 2.4 Perbandingan Metode Komputasi	87
Tabel 2.5 Perbandingan Spesifikasi Warning Alert.....	92
Tabel 2.6 Perbandingan Spesifikasi Notifikasi	94
Tabel 2.7 Perbandingan Spesifikasi Database	99
Tabel 2.8 Perbandingan Spesifikasi Suplai Daya	101
Tabel 2.9 Spesifikasi Produk Subsistem 2	106
Tabel 2.10 Spesifikasi Kamera	107
Tabel 2.11 Spesifikasi Library Barcode.....	110
Tabel 2.12 Spesifikasi Deteksi Tanggal.....	112
Tabel 2.13 Spesifikasi OCR.....	114
Tabel 2.14 Spesifikasi Unit Pemrosesan.....	115
Tabel 2.15 Perbandingan Media Interface.....	117
Tabel 2.16 Spesifikasi Produk Sub Sistem 3	120
Tabel 2.17 Perbandingan UHF RFID Reader	121
Tabel 2.18 Perbandingan Spesifikasi Unit Pengolahan Data.....	124
Tabel 2.19 Perbandingan Spesifikasi Modul Converter RS232 ke TTL	127
Tabel 2.20 Module Converter MAX3232 RS232	128
Tabel 2. 21 Perbandingan Sistem Basis Data.....	129

Tabel 2.22 Perbandingan Spesifikasi Notifikasi Audio	131
Tabel 2.23 Perbandingan Spesifikasi Perangkat Notifikasi Visual.....	132
Tabel 2.24 Kebutuhan Daya Komponen Subsistem 1	134
Tabel 2.25 Kebutuhan Daya Komponen Subsistem 2	139
Tabel 2.26 Spesifikasi Kelistrikan Komponen	142
Tabel 2.27 Spesifikasi Adaptor 12 V 1 A	144
Tabel 2.28 Verifikasi Sistem Subsistem 1	145
Tabel 2.29 Verifikasi Sistem Subsistem 2	147
Tabel 2.30 Verifikasi Sub Sistem 3.....	149
Tabel 2.31 Product Cost Subsistem 1	153
Tabel 2.32 Development Cost Subsistem 1	154
Tabel 2.33 Product Cost Subsistem 2	155
Tabel 2.34 Development Cost Subsistem 2	156
Tabel 2.35 Product Cost Subsistem 3	157
Tabel 2.36 Development Cost.....	157
Tabel 3.1 Rancangan Koneksi Antar Komponen ESP32 dan MAX3232.....	223
Tabel 3.2 Rancangan Koneksi LCD I2C.....	223
Tabel 3.3 Rancangan Koneksi Buzzer	224
Tabel 3.4 Tabel Database Pengguna (Admin)	229
Tabel 3.5 Tabel Database Rak	229
Tabel 3.6 Tabel Database Produk	230
Tabel 3.7 Tabel Database Aktivitas Manusia (HAR)	230
Tabel 3.8 Tabel Database Log Kejadian	231
Tabel 3.9 Tabel Database Notifikasi.....	232
Tabel 3.10 Rencana Jadwal Pengerjaan	233
Tabel 4. 1 Perubahan Pin Perangkat Keras	231
Tabel 4. 2 Fungsi kode HTTP	241
Tabel 4. 3 Konfigurasi Reader RFID	243
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pembacaan RFID Reader berdasarkan Jarak.....	260

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Validasi Arus Transaksi Produk	264
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Waktu Respons Pembaruan Data Stok	267
Tabel 4. 7 Perbandingan Stok Basis Data dengan Antarmuka Website	274
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Audio Visual.....	276
Tabel 4.9 Hasil Skenario Pengujian Keseluruhan Sistem Smartklon Ketersediaan Stok	279



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Dalam operasional toko kelontong modern, data stok pangan merupakan pondasi utama bagi efisiensi operasional dan jaminan mutu layanan. Ketersediaan produk yang tepat jumlah, kualitas, dan waktu menjadi faktor penting dalam menjaga kepuasan dan kepercayaan konsumen. Namun pada toko kelontong modern khususnya toko dengan skala kecil hingga menengah, mekanisme pengawasan kondisi produk masih didominasi oleh metode manual yang tidak terintegrasi dengan sistem informasi terpusat. Sedangkan dalam suatu toko kelontong atau ritel modern, visibilitas data stok secara real-time merupakan kebutuhan operasional yang semakin mendesak dalam menghadapi ekspektasi konsumen terhadap ketersediaan produk segar dan layanan yang responsif. Meskipun sistem Point of Sales (POS) telah banyak diadopsi untuk pencatatan transaksi penjualan, sistem ini umumnya hanya berfungsi sebagai alat perekam keluar-masuk barang secara kasual dan belum terintegrasi secara menyeluruh dengan proses identifikasi, pelacakan, serta pemantauan kondisi fisik produk di rak penyimpanan. Proses krusial seperti pencatatan tanggal kedaluwarsa, pengecekan stok aktual, hingga pemantauan lokasi produk masih sangat bergantung pada inspeksi manual oleh petugas toko. Ketergantungan terhadap pencatatan manual menyita waktu, rentan terhadap human error, serta kerap menghasilkan data yang tidak akurat dan tidak sinkron dengan keadaan fisik nyata di lapangan [1].

Permasalahan ini semakin kompleks ketika berhadapan dengan produk-produk mudah rusak, di mana kualitas produk menurun seiring waktu dan keputusan operasional harus mempertimbangkan tanggal kedaluwarsa serta penanganan khusus. Kegagalan dalam pengawasan manual ini memiliki konsekuensi nyata, sebagaimana sorotan publik pada awal tahun 2025 terkait insiden di Rokan Hilir, Riau. Ditemukannya produk makanan bayi yang telah kedaluwarsa sejak Desember 2023 di salah satu gerai ritel modern mengakibatkan gangguan kesehatan pada konsumen balita. Kasus yang berujung pada atensi publik dan aparat setempat ini menjadi bukti konkret bahwa mekanisme kontrol stok konvensional sering kali

lolos dalam mendeteksi produk tidak layak jual [2]. Penerapan model inventori pada produk *perishable* menunjukkan bahwa tanpa mekanisme monitoring kualitas secara kontinu, tingkat pemborosan dapat meningkat secara signifikan dan hanya dapat dikurangi melalui strategi inventori serta proses operasional yang lebih terstruktur [3]. Kondisi ini memperkuat bahwa tantangan pada toko kelontong modern tidak sekadar manajemen stok kuantitatif, tetapi juga manajemen kualitas dan umur produk secara *real-time*.



Gambar 1.1 Kegiatan Abnormal Pengambilan Produk tanpa transaksi

Selain masalah kedaluwarsa, proses manual juga berkontribusi pada risiko kehilangan (*stock loss*) dan kesalahan peletakan produk di rak penyimpanan. Ketidakteraturan penempatan barang, lemahnya sistem identifikasi produk, serta absennya mekanisme pelacakan yang terotomatisasi menyebabkan terjadinya ketidaksesuaian antara data persediaan dan kondisi fisik barang, yang berdampak langsung pada penurunan akurasi catatan stok. Aktivitas pada rak penyimpanan idealnya mengikuti alur yang teratur, mulai dari pengambilan barang untuk transaksi penjualan, proses pengisian stok oleh petugas, hingga pengembalian produk ke posisi semula secara tepat. Namun, penyimpangan dari pola ini sering kali memicu situasi abnormal yang ditandai dengan ketidakkonsistenan gerakan tubuh maupun perubahan kondisi rak. Salah satu anomali yang paling signifikan adalah pengambilan produk tanpa transaksi, di mana barang diambil dan dibawa pergi tanpa adanya pencatatan penjualan atau aktivitas pengisian ulang. Hal ini

tidak hanya menyebabkan kehilangan barang secara fisik, tetapi juga menciptakan selisih antara data inventaris digital dengan realitas di lapangan.



Gambar 1.2 Kesalahan Penempatan Produk

Selain kehilangan fisik, masalah lain yang kerap muncul adalah kesalahan penempatan produk atau *misplacement*. Kondisi ini terjadi saat produk diletakkan kembali di lokasi yang tidak sesuai dengan kategori aslinya, sering kali akibat kelalaian pelanggan atau proses pengembalian yang tidak teratur. Meskipun produk masih berada di dalam toko, pergeseran lokasi ini memicu fenomena *phantom inventory*, di mana sistem mencatat barang tersedia padahal secara fisik tidak ditemukan di posisi yang benar, sehingga mengganggu pemenuhan permintaan. Selain itu masalah kehilangan dan kesalahan penempatan barang menyebabkan ketidaksesuaian antara data stok dan kondisi fisik di rak, yang berdampak pada kegagalan pengisian ulang stok, meningkatnya *out-of-stock* palsu, penurunan akurasi inventori, serta kerugian finansial. Selain itu, masalah ini juga menurunkan efisiensi operasional dan kualitas layanan, karena staf harus menghabiskan waktu untuk mencari barang yang secara sistem tercatat ada, tetapi tidak ditemukan di lokasi yang semestinya.[4].

Sistem informasi inventori berbasis web pada UMKM menunjukkan bahwa peralihan dari pencatatan manual ke sistem digital mampu meningkatkan akurasi data persediaan, mempercepat proses pencatatan, serta mengurangi kesalahan catat stok secara signifikan [5]. Digitalisasi sistem inventori berperan penting dalam meminimalkan *human error* dan meningkatkan keandalan informasi stok dalam operasional usaha [6].

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Pengelolaan produk pangan pada toko kelontong modern melibatkan jumlah item yang besar dengan variasi jenis, merek, dan masa simpan yang berbeda. Produk dengan identitas yang sama dapat berasal dari batch produksi berbeda dan memiliki tanggal kedaluwarsa yang tidak seragam. Kondisi ini menuntut sistem identifikasi dan pelacakan yang akurat agar produk yang mendekati atau melewati masa kedaluwarsa dapat terdeteksi tepat waktu. Namun, pada praktiknya, proses ini masih banyak bergantung pada pencatatan manual dan inspeksi visual, sehingga rentan terhadap kesalahan dan inkonsistensi data [7].

Identifikasi produk pangan di tingkat ritel umumnya mengandalkan barcode satu dimensi (1D) sebagai identitas utama produk. Barcode 1D yang paling banyak digunakan adalah EAN-13 dan UPC-A untuk unit produk ritel, ITF-14 untuk kemasan karton, serta Code 128 untuk kebutuhan logistik tertentu. Standar barcode tersebut ditetapkan oleh GS1 dan dirancang untuk membawa informasi identitas produk (*Global Trade Item Number*/GTIN), bukan untuk menyimpan informasi kondisi produk seperti tanggal kedaluwarsa atau nomor batch secara langsung [8].

Secara fisik, barcode 1D memiliki ukuran yang relatif kecil dan dibatasi oleh spesifikasi standar. Berdasarkan GS1 General Specifications, barcode EAN-13 pada ukuran nominal (100%) memiliki lebar total sekitar 37,29 mm dan tinggi total sekitar 25,93 mm, dengan jumlah 95 modul garis dan spasi serta lebar modul minimum sekitar 0,33 mm. Pada kemasan berukuran kecil, barcode sering dicetak pada skala minimum ($\pm 80\%$), sehingga lebar total barcode dapat berkurang menjadi sekitar 29–30 mm dengan lebar modul sekitar 0,26 mm, yang secara signifikan meningkatkan sensitivitas terhadap distorsi visual dan keterbatasan resolusi pengamatan [8].

Tabel 1.1 Standar Barcode 1D [8]

Jenis Barcode	Lebar Nominal	Tinggi Nominal	Lebar Modul Minimum	Penggunaan Umum
EAN-13	$\pm 37,29$ mm	$\pm 25,93$ mm	$\pm 0,33$ mm (100%), $\pm 0,26$ mm (80%)	Produk ritel
UPC-A	$\pm 37,29$ mm	$\pm 25,93$ mm	$\pm 0,33$ mm	Produk ritel
ITF-14	≥ 50 mm	≥ 32 mm	$\pm 0,495$ mm	Karton/dus
Code 128	Variatif	Variatif	$\geq 0,495$ mm	Logistik



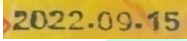
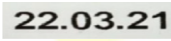
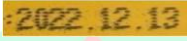
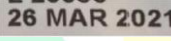
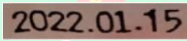
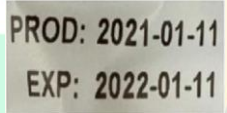
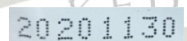
Gambar 1.3 1D Barcode Specification[9]

Selain keterbatasan barcode, informasi tanggal kedaluwarsa pada produk pangan umumnya dicetak menggunakan metode *inkjet* atau *thermal printing* dengan ukuran font kecil, kontras rendah, serta lokasi cetak yang tidak konsisten. Penelitian menunjukkan bahwa format penulisan tanggal kedaluwarsa sangat bervariasi antar produsen, baik dari segi urutan tanggal, penggunaan delimiter, bahasa, maupun kelengkapan informasi (hari, bulan, dan tahun). Variasi format ini menyulitkan proses identifikasi tanggal kedaluwarsa secara konsisten, terutama ketika proses masih mengandalkan inspeksi visual manual.

Lebih lanjut, kondisi visual teks tanggal kedaluwarsa sering mengalami degradasi akibat faktor lingkungan dan karakteristik kemasan. Permasalahan seperti erosi karakter, distorsi, teks melengkung mengikuti kontur kemasan, kemiringan teks, pengaburan tinta, pemudaran warna, latar belakang gelap atau berwarna, pantulan

cahaya pada kemasan mengkilap, serta jarak antar karakter yang tidak seragam banyak ditemukan pada produk pangan. Selain itu, keberadaan lebih dari satu tanggal pada kemasan dan posisi pencetakan tanggal yang tidak standar semakin meningkatkan kompleksitas identifikasi tanggal kedaluwarsa. Contoh tantangan visual dalam pengenalan tanggal kedaluwarsa tersebut dirangkum pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Challenging date samples while recognizing expiration dates [10]

Masalah	Contoh	Masalah	Contoh
<i>Erosion</i>		<i>Different formats</i>	
<i>Distortion</i>			
<i>Warping</i>			
<i>Skewing</i>		<i>No understanding</i>	
<i>Blurring</i>			
<i>Fading</i>		<i>Multiple dates</i>	
<i>Dark background</i>			
<i>Colorful background</i>		<i>Input with Centered expiration date</i>	
<i>Reflection</i>			
<i>Uneven spaces</i>			

Keterbacaan barcode dan informasi cetak tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan operasional. Untuk aktivitas visual di area ritel, tingkat pencahayaan yang direkomendasikan berada pada kisaran 300–500 lux, sedangkan untuk inspeksi visual detail dan pembacaan teks kecil diperlukan pencahayaan yang lebih tinggi, umumnya ≥ 500 lux [11], [12]. Namun, pencahayaan di area rak toko sering

kali tidak merata akibat bayangan produk lain, jarak lampu yang tidak ideal, atau kombinasi cahaya buatan dan cahaya alami.

Permasalahan ini diperparah oleh karakteristik kemasan produk pangan yang sering kali memiliki permukaan mengkilap, reflektif, atau melengkung. Studi dan laporan teknis industri menunjukkan bahwa pantulan cahaya berlebih (glare) dan distorsi permukaan kemasan dapat mengganggu keterbacaan barcode serta teks cetak, baik oleh pengamatan manusia maupun sistem pemindaian berbasis kamera [13], [14]. Kondisi tersebut menyebabkan proses inspeksi visual menjadi tidak konsisten dan sangat bergantung pada ketelitian operator.

Dalam sistem pengelolaan stok yang masih bersifat manual, data yang dicatat umumnya terbatas pada identitas produk dan jumlah barang. Padahal, sistem pelacakan kedaluwarsa yang efektif memerlukan data tambahan seperti tanggal kedaluwarsa, nomor *batch*/lot, tanggal masuk produk, lokasi penyimpanan, serta status produk. Literatur manajemen logistik dan rantai pasok pangan menekankan bahwa ketiadaan data tersebut menghambat penerapan prinsip rotasi stok seperti *First-In-First-Out* (FIFO) atau *First-Expired-First-Out* (FEFO) secara konsisten [15], [16].

Penataan produk diatur sedemikian rupa sehingga tidak ada kekosongan stok dan memaksimalkan penjualan. Kekosongan stok (*Out-of-Stock* atau OOS) terjadi ketika seorang pelanggan di toko kelontong ingin membeli produk yang tidak tersedia di dalam rak. Hal ini menyebabkan seorang pelanggan pergi meninggalkan toko kelontong dan berpindah ke toko kelontong lain. Sayangnya, untuk memastikan ketersediaan barang yang tinggi di rak, para pekerja toko harus bergerak di sekitar toko dan mencari produk yang perlu diisi ulang dan produk yang ditempatkan dengan tidak benar. Namun, tugas ini cukup memakan waktu karena biasanya ada ratusan produk yang berbeda yang harus dipantau di dalam toko [17].

Manajemen stok merupakan rangkaian kebijakan atau keputusan yang diambil untuk menjamin ketersediaan persediaan dengan kualitas, kuantitas, dan waktu yang tepat. Ketidakcocokan antara jumlah persediaan dan tingkat penjualan dapat berdampak pada penurunan keuntungan. Manajemen stok pada toko kelontong

yang baik, tidak hanya melibatkan pengelolaan jumlah barang yang tersedia, tetapi juga memastikan kecocokan antara persediaan dan penjualan, agar tidak terjadi penumpukan barang yang dapat mengakibatkan kerugian akibat barang kedaluwarsa. Akan tetapi, pengolahan data stok yang masih dilakukan secara manual dapat menghambat pencapaian tujuan tersebut, menimbulkan berbagai kendala seperti lambatnya perhitungan, lamanya pengecekan barang, sulitnya pencarian data, serta pembuatan laporan yang memerlukan waktu cukup lama [18].

Misplaced items atau peletakan barang yang tertukar pada rak toko kelontong merupakan salah satu penyebab dari kelalaian operasional dari toko tersebut atau dapat disebut fenomena *Phantom Inventory*, yaitu kondisi di mana sistem mencatat stok tersedia, namun fisik barang tidak dapat ditemukan karena berada di lokasi yang salah. ketergantungan pada pemeriksaan manual oleh staf toko tidak lagi efektif untuk menangani ribuan *Stock Keeping Units* (SKU) yang bergerak cepat. Kesalahan penempatan ini menyebabkan distorsi data inventaris yang fatal, mengakibatkan kegagalan dalam pemenuhan pesanan daring (*omnichannel fulfillment*) dan penurunan akurasi peramalan permintaan (*demand forecasting*) karena data penjualan tidak mencerminkan permintaan yang sebenarnya [19].

Tantangan teknis terbesar dalam mengatasi masalah ini terletak pada kemiripan visual antar-produk. Konsumen sering kali salah meletakkan barang di sebelah produk yang memiliki warna atau bentuk kemasan. Hal ini menunjukkan bahwa metode deteksi konvensional sering gagal membedakan produk-produk yang sangat mirip dalam kondisi pencahayaan toko yang dinamis dan rak yang padat (*cluttered shelves*) [20].

Selain itu, operasional toko kelontong modern menghadapi berbagai permasalahan krusial, antara lain produk kedaluwarsa, penempatan barang yang tidak sesuai, ketidakteraturan stok, serta kehilangan barang akibat pencurian dan selisih inventaris. Kehilangan barang (*inventory shrinkage*) dalam ritel umumnya disebabkan oleh pencurian, kesalahan administratif, dan kegagalan dalam proses pencatatan, yang sering terjadi pada toko dengan volume produk tinggi dan sistem pengelolaan stok yang masih sederhana [21]. Produk dengan jumlah unit besar dan

tingkat perputaran yang cepat memiliki kerentanan tinggi terhadap kehilangan, terutama ketika sistem pencatatan masih dilakukan secara manual dan bergantung pada inspeksi visual oleh staf toko [22].

Metode pencatatan manual memiliki risiko kesalahan manusia yang tinggi, seperti ketidakakuratan pencatatan, keterlambatan pembaruan data, serta ketidaksesuaian antara data sistem dan kondisi fisik barang di lapangan. Ketergantungan pada inspeksi visual turut memicu terjadinya *phantom inventory*, yaitu kondisi ketika sistem mencatat stok tersedia, tetapi barang tidak dapat ditemukan secara fisik akibat salah penempatan atau kehilangan [23]. Kondisi ini menyebabkan data persediaan menjadi tidak andal dan menyulitkan proses pengendalian inventori.

Faktor lingkungan toko, seperti kepadatan rak, pencahayaan yang tidak merata, serta lokasi penyimpanan yang sulit dijangkau, semakin meningkatkan risiko kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Produk yang berada di area dengan tingkat visibilitas rendah cenderung lebih sulit diawasi dan lebih rentan terhadap pencurian maupun kelalaian operasional [24]. Kehilangan barang umumnya baru teridentifikasi saat dilakukan pemeriksaan stok secara berkala, sehingga penentuan waktu dan penyebab kehilangan menjadi sulit dilakukan secara akurat.

Akibat dari kondisi tersebut, data persediaan sering kali tidak mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya, yang berdampak langsung pada proses pengisian ulang stok dan perencanaan pembelian. Penelitian menunjukkan bahwa ketidakakuratan data inventori berpengaruh signifikan terhadap kegagalan *replenishment*, kesalahan peramalan permintaan, serta penurunan tingkat layanan kepada pelanggan [25]. Hal ini menegaskan bahwa metode pengelolaan stok manual tidak lagi memadai bagi toko kelontong modern dengan jumlah dan variasi *Stock Keeping Units* (SKU) yang besar, sehingga diperlukan sistem inventori yang lebih terotomatisasi dan andal untuk menjaga akurasi serta ketersediaan stok [26].

1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain

Dalam merancang solusi yang efektif, berbagai aspek penting harus dipertimbangkan untuk memastikan alat yang dihasilkan tidak hanya fungsional,

tetapi juga efisien dari berbagai sisi. Beberapa aspek yang menjadi fokus utama dalam perancangan ini meliputi :

1. Aspek Ekonomi

Kehilangan barang akibat kehilangan maupun kesalahan penempatan produk dapat ditekan melalui pemantauan aktivitas manusia dan posisi barang, sehingga potensi kerugian finansial dapat diminimalkan. Ketidakakuratan dalam pelacakan status kedaluwarsa produk pangan dapat mengakibatkan kerugian finansial bagi toko kelontong modern. Ketidakakuratan dalam pengelolaan stok mengarah pada produk kedaluwarsa yang tidak terdeteksi, sehingga mengurangi potensi penjualan dan meningkatkan biaya pengelolaan barang [27]. Selain itu, ketidakmampuan untuk menerapkan prinsip pengelolaan stok berbasis waktu, seperti *First Expired First Out* (FEFO), dapat memperburuk kerugian akibat stok produk yang tidak teratur. Oleh karena itu, diperlukan solusi digital yang mampu meningkatkan akurasi dalam pengelolaan stok dan pelacakan kedaluwarsa guna mengurangi kerugian finansial serta meningkatkan efisiensi operasional [28].

2. Aspek Lingkungan

Pengelolaan produk pangan yang kurang efisien meningkatnya pemborosan sumber daya alam, Makanan yang terbuang akibat kedaluwarsa atau kesalahan dalam pengelolaan stok menambah masalah limbah yang semakin parah[29]. Dengan menggunakan teknologi untuk memperbaiki pengelolaan stok, pemborosan makanan bisa dikurangi. Ini juga mendukung upaya global untuk mengurangi limbah makanan, menjaga kelestarian lingkungan, serta mengurangi jejak karbon yang dihasilkan dari produksi dan distribusi makanan yang terbuang[30].

3. Aspek Sosial

Kehilangan barang dan kesalahan penempatan yang terjadi secara berulang dapat menimbulkan rasa saling curiga, menurunkan tingkat kepercayaan, serta menciptakan suasana kerja yang kurang kondusif. Dengan diterapkannya sistem pengawasan, proses pengawasan dilakukan secara objektif dan berbasis data, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual yang berpotensi menimbulkan prasangka terhadap individu tertentu. Ketidakakuratan dalam melacak tanggal kedaluwarsa produk pangan dapat mempengaruhi kualitas

dan kepercayaan pelanggan. Menjual produk yang sudah kedaluwarsa atau tidak terkelola dengan baik bertentangan dengan prinsip etika bisnis yang mengutamakan kesejahteraan konsumen [31]. Penyalahgunaan informasi terkait kedaluwarsa juga bisa merugikan konsumen, yang akhirnya merusak reputasi toko dan berpotensi menimbulkan masalah hukum. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem yang akurat dan transparan dalam pengelolaan stok agar etika bisnis tetap terjaga dan konsumen terlindungi [32]. Ketersediaan barang yang terjaga, penempatan produk yang lebih rapi, serta berkurangnya risiko produk kedaluwarsa meningkatkan kualitas pengalaman berbelanja. Toko kelontong yang mampu menyediakan barang secara konsisten dan tertata dengan baik akan lebih dipercaya oleh masyarakat sekitar sebagai penyedia kebutuhan sehari-hari yang andal.

4. Aspek Kesehatan

Penting sekali untuk melacak tanggal kedaluwarsa produk dengan akurat untuk mencegah konsumen mengonsumsi barang yang sudah tidak layak atau berisiko bagi kesehatan. Produk yang mendekati kedaluwarsa, terutama yang mudah rusak seperti makanan olahan atau siap saji, dapat menimbulkan risiko kesehatan jika tidak terdeteksi dengan tepat waktu. Sistem yang mampu memperbarui status kedaluwarsa secara otomatis akan mengurangi potensi risiko kesehatan yang bisa timbul akibat mengonsumsi produk yang sudah tidak aman [33][34].

Adapun beberapa konstrain yang dapat muncul berdasarkan permasalahan ini, konstrain ini mencakup berbagai tantangan yang bisa memengaruhi keberhasilan penerapan solusi, baik dari sisi teknologi, biaya, maupun aspek operasional lainnya.

Adapun beberapa konstrain yang dapat muncul berdasarkan permasalahan dan kebutuhan sistem yang telah diuraikan sebelumnya. Konstrain ini mencakup berbagai tantangan yang berpotensi memengaruhi keberhasilan perancangan dan implementasi solusi, baik dari sisi teknis, operasional, biaya, maupun sumber daya manusia.

1. Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis

Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis merupakan konstrain yang berkaitan dengan kesiapan fisik dan teknis toko kelontong skala

kecil hingga menengah dalam mendukung implementasi sistem berbasis teknologi. Infrastruktur yang dimaksud meliputi ketersediaan perangkat keras, kualitas jaringan komunikasi, serta kapasitas suplai daya listrik yang umumnya terbatas. Sistem dibatasi untuk dapat beroperasi pada suplai listrik standar toko tidak melebihi ± 60 W serta mampu berjalan stabil pada kondisi jaringan lokal atau internet dengan bandwidth terbatas (≤ 10 Mbps). Keterbatasan tersebut membatasi penggunaan perangkat komputasi berdaya tinggi dan sistem yang sepenuhnya bergantung pada konektivitas cloud secara kontinu. Oleh karena itu, sistem harus dirancang dengan pendekatan edge computing dan operasional secara mandiri (standalone) agar tetap andal meskipun terjadi gangguan jaringan pada lingkungan operasional toko[35].

2. Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja

Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja merupakan konstrain yang berkaitan dengan kemampuan sistem untuk diintegrasikan ke dalam aktivitas harian toko tanpa mengganggu pola kerja yang telah berjalan. Sebagian besar toko kelontong skala kecil masih mengandalkan prosedur operasional berbasis kebiasaan dan pengalaman, sehingga perubahan yang terlalu kompleks berpotensi menimbulkan resistensi pengguna. Untuk meminimalkan hambatan tersebut, sistem dibatasi agar tidak menambah lebih dari satu hingga dua langkah baru dalam alur kerja harian serta tidak memerlukan interaksi pengguna lebih dari ± 1 menit untuk setiap kejadian. Sistem juga dirancang agar tidak menuntut input manual berulang selama jam operasional, melainkan bekerja secara otomatis dan pasif. Dengan pendekatan ini, sistem dapat diadopsi secara bertahap tanpa memerlukan restrukturisasi proses kerja secara signifikan[36].

3. Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data

Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data menjadi konstrain penting seiring dengan meningkatnya volume data yang dikumpulkan oleh sistem. Konstrain ini membatasi sistem agar dapat menyimpan citra atau snapshot pada saat terjadi kejadian tertentu. Data hasil pemantauan hanya dapat diakses oleh pengguna dengan hak administratif. Selain itu, seluruh proses transmisi data harus menggunakan mekanisme komunikasi yang aman melalui

protokol terenkripsi. Konstrain ini bertujuan untuk menekan risiko pelanggaran privasi, mencegah penyalahgunaan data, serta memastikan sistem tetap mematuhi regulasi perlindungan data yang berlaku, khususnya pada lingkungan ritel yang melibatkan aktivitas manusia[37].

4. Keterbatasan Kemampuan dan Literasi Teknologi Sumber Daya Manusia

Keterbatasan Kemampuan dan Literasi Teknologi Sumber Daya Manusia merupakan konstrain yang berhubungan langsung dengan tingkat pemahaman dan keterampilan pengguna sistem. Pada toko kelontong, pengguna umumnya bukan tenaga teknis, sehingga sistem harus dirancang dengan tingkat kompleksitas yang rendah. Untuk itu, sistem dibatasi agar dapat dioperasikan tanpa pelatihan formal lebih dari ± 30 menit dan tidak memerlukan lebih dari 4 sampai 5 tombol fisik pada perangkat. Pengurangan jumlah tombol ini bertujuan menurunkan beban kognitif pengguna, meminimalkan risiko kesalahan pengoperasian, serta mempercepat proses adopsi sistem. Dengan antarmuka yang sederhana, penggunaan indikator visual, dan minim konfigurasi teknis, keterbatasan literasi teknologi pengguna dapat dimitigasi tanpa mengorbankan fungsi utama sistem [38].

5. Keterbatasan Anggaran Implementasi Sistem (*Low Cost Constraint*)

Aspek biaya menjadi salah satu konstrain utama dalam perancangan solusi, mengingat toko kelontong umumnya memiliki margin keuntungan yang relatif terbatas. Keterbatasan anggaran membatasi pemilihan teknologi, jumlah perangkat yang dapat digunakan, serta cakupan sistem yang diimplementasikan. Oleh karena itu, sistem yang dirancang harus memiliki total biaya implementasi tidak melebihi $\pm$ Rp8.000.000, dengan tetap mempertahankan fungsi utama sistem agar layak diterapkan secara ekonomis dan berkelanjutan [39].

6. Batasan Waktu Pengembangan dan Implementasi Sistem

Pengembangan dan penerapan sistem dibatasi oleh rentang waktu tertentu, yaitu sekitar ± 6 bulan, sehingga proses perancangan harus dilakukan secara terstruktur dan realistis. Keterbatasan waktu ini menuntut pemilihan teknologi dan metode pengembangan yang matang, modular, serta mudah diintegrasikan. Apabila tidak dikelola dengan baik, batasan waktu dapat berdampak pada kualitas sistem, tingkat

pengujian, dan kesiapan sistem saat diimplementasikan di lingkungan operasional nyata [40].

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan informasi pendukung masalah, terdapat kebutuhan yang harus dipenuhi untuk mendapatkan solusi dari permasalahan. Kebutuhan sistem yang harus dipenuhi diantaranya sebagai berikut :

1.1.3.1 Subsistem 1 : Kehilangan dan Kesalahan Penempatan Barang

1. Sistem harus memantau posisi setiap produk secara kontinu untuk mencegah kesalahan penempatan atau kehilangan barang. Kebutuhan pemantauan posisi setiap produk secara kontinu bertujuan untuk memastikan kesesuaian penempatan barang dengan tata letak rak yang telah ditentukan. Melalui pemantauan ini, sistem dapat mendeteksi perubahan posisi produk secara real-time akibat aktivitas normal maupun kesalahan penempatan dan potensi kehilangan.
2. Sistem harus mampu mengenali aktivitas abnormal yang berkaitan dengan potensi kehilangan. Melalui analisis pola pergerakan dan interaksi manusia dengan produk di area rak, sehingga sistem dapat membedakan aktivitas normal seperti mengambil dan mengembalikan barang dengan perilaku yang menyimpang, serta memberikan peringatan dini ketika terdeteksi aktivitas yang berpotensi menyebabkan kehilangan barang.
3. Sistem harus memberikan notifikasi atau peringatan otomatis apabila terjadi anomali stok atau potensi kehilangan. Sistem bekerja berdasarkan hasil pemantauan posisi produk dan analisis aktivitas manusia, sehingga pihak terkait dapat segera melakukan tindakan pengecekan dan penanganan untuk mencegah kerugian lebih lanjut.
4. Sistem harus menyimpan semua data aktivitas, identitas produk, dan peringatan dalam bentuk log yang terintegrasi sehingga dapat dijadikan bukti konkrit. Proses penyimpanan data log dimulai dari pengumpulan data aktivitas manusia dan pergerakan produk, yang kemudian dianalisis untuk menentukan kondisi normal atau anomali. Hasil analisis berupa waktu kejadian, identitas produk, lokasi rak, dan peringatan disimpan secara otomatis dalam basis data terintegrasi agar dapat ditelusuri kembali sebagai

bahan evaluasi dan bukti apabila terjadi kehilangan atau kesalahan penempatan barang.

5. Sistem harus dirancang agar dapat beroperasi secara kontinu selama jam operasional toko dengan konsumsi daya yang efisien dan handal. Dengan konsumsi daya yang efisien dan kinerja yang andal, sistem mampu bekerja secara stabil dalam jangka waktu lama serta tidak menambah beban biaya operasional akibat penggunaan energi yang berlebihan.

1.1.3.2 Subsistem 2 : Kedaluwarsa pada Produk

1. Sistem mampu melakukan identifikasi produk secara otomatis serta mengambil informasi tanggal kedaluwarsa dari kemasan produk. Kebutuhan identifikasi ini bertujuan untuk meniadakan proses input manual guna meningkatkan efisiensi pendataan. Melalui interaksi perangkat dengan produk, sistem secara otomatis mengenali identitas barang dan memperoleh data tanggal kedaluwarsa yang tertera, sehingga informasi tersebut langsung terintegrasi ke dalam sistem digital tanpa bergantung pada pengetikan ulang oleh pengguna.
2. Sistem mampu menganalisis status produk berdasarkan kedekatan terhadap tanggal kedaluwarsa dan menyajikan informasi kondisi produk secara mudah dipahami oleh pengguna. Melalui proses komparasi antara waktu berjalan dengan data kedaluwarsa yang telah didapatkan, sistem mampu menentukan kategori urgensi masa simpan produk. Informasi status ini disajikan melalui tampilan yang komunikatif agar pengguna dapat mengidentifikasi kelayakan produk secara instan guna mempercepat proses pengambilan keputusan di lapangan.
3. Sistem mampu menyimpan dan mengelola data produk dan status kedaluwarsa secara terpusat. Kebutuhan pengelolaan terpusat ini bertujuan untuk menjaga keseragaman data di seluruh platform yang digunakan. Seluruh informasi mengenai identitas produk dan profil masa berlakunya diorganisir dalam satu pangkalan data tunggal, sehingga memudahkan proses sinkronisasi, pembaruan, serta penelusuran data oleh pihak terkait secara *real-time*.

4. Sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap produk yang mendekati atau telah melewati tanggal kedaluwarsa. Sistem bekerja dengan melakukan pemantauan terjadwal terhadap sisa masa simpan produk yang terdaftar untuk mendeteksi kondisi yang memerlukan perhatian khusus. Apabila suatu produk mencapai ambang batas waktu tertentu, sistem secara otomatis memicu notifikasi peringatan agar pengguna dapat segera melakukan tindakan penanganan sebelum produk tersebut tidak layak jual.

1.1.3.3 Subsistem 3 : Ketersediaan stok

1. Sistem harus mampu mencatat setiap aktivitas barang masuk dan barang keluar secara otomatis dan terstruktur. Pencatatan barang masuk dilakukan ketika barang diterima dari supplier dan dimasukkan ke dalam gudang atau area penyimpanan, sedangkan pencatatan barang keluar dilakukan saat barang dipindahkan ke etalase atau terjual kepada pelanggan. Dengan pencatatan ini, setiap perubahan stok memiliki jejak data yang jelas sehingga meminimalkan kesalahan pencatatan manual dan meningkatkan akurasi data persediaan.
2. Sistem harus mampu memperbarui data stok secara otomatis sesuai dengan aktivitas transaksi yang terjadi. Setiap aktivitas barang masuk, barang keluar, maupun transaksi penjualan akan langsung memicu pembaruan jumlah stok dalam basis data. Proses pembaruan ini memastikan bahwa data stok yang ditampilkan pada sistem selalu mencerminkan kondisi aktual di lapangan, sehingga informasi yang digunakan untuk pengambilan keputusan tetap valid dan dapat dipercaya.
3. Sistem harus mampu beroperasi secara stabil pada lingkungan toko dengan kondisi barang yang tertata maupun bertumpuk. Lingkungan toko sering memiliki variasi penataan barang, baik yang tersusun rapi di rak maupun yang disimpan secara bertumpuk di gudang. Oleh karena itu, sistem dirancang agar tetap dapat melakukan pencatatan dan pemantauan stok dengan baik tanpa terpengaruh oleh kondisi fisik penyimpanan barang, sehingga keandalan sistem tetap terjaga dalam berbagai situasi operasional toko.

4. Sistem harus dirancang agar mudah digunakan oleh pengguna tanpa memerlukan pelatihan intensif. Antarmuka sistem dibuat sederhana, informatif, dan mudah dipahami oleh pengguna seperti pemilik toko atau karyawan. Dengan tampilan yang jelas dan alur penggunaan yang intuitif, pengguna dapat dengan cepat melakukan pencatatan barang masuk, barang keluar, serta memantau stok tanpa memerlukan pelatihan teknis yang mendalam, sehingga sistem dapat langsung diimplementasikan dalam aktivitas operasional sehari-hari.

1.1.4 Tujuan

Dari kebutuhan sistem yang telah diuraikan sebelumnya, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat meningkatkan efisiensi serta ketepatan dalam pengelolaan stok produk di toko sembako modern. Sistem ini dirancang untuk memantau jumlah barang di rak secara real-time dengan akurasi yang tinggi, sehingga masalah stok dapat diminimalkan dan informasi mengenai keadaan rak selalu sejalan dengan data dalam sistem. Sistem ini juga berfungsi untuk secara otomatis mengenali produk yang mendekati atau telah melewati tanggal kedaluwarsa, sehingga potensi kerugian akibat produk kadaluarsa dapat diminimalkan secara signifikan.

Selain itu, sistem diharapkan mampu mengenali perbedaan antara data inventaris yang terdaftar dengan keadaan fisik rak, mendeteksi potensi kehilangan atau pencurian barang, serta memantau posisi setiap produk secara berkelanjutan untuk menghindari kesalahan penempatan atau pertukaran barang. Dengan sistem notifikasi dan peringatan otomatis, petugas dapat dengan cepat mengambil langkah perbaikan saat terjadi anomali stok, produk kadaluwarsa, atau tanda kehilangan.

Semua kegiatan sistem, mulai dari pengenalan produk, pengawasan keadaan rak, hingga notifikasi, akan dicatat dalam log yang terorganisir dan aman, sehingga dapat digunakan untuk audit, analisis, dan keputusan operasional. Sistem dirancang untuk beroperasi tanpa henti selama jam buka toko dengan efisiensi energi yang optimal, memastikan layanan yang handal tanpa mengganggu aktivitas harian toko. Dengan demikian, sistem ini bukan hanya berfungsi sebagai alat pencatat, tetapi juga sebagai mekanisme menyeluruh untuk menjamin ketersediaan, keamanan,

serta kualitas produk, sambil mendukung pengambilan keputusan yang berlandaskan data.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

1. Fitur Dasar

a. *Sensing Capability*

Fitur ini berfungsi sebagai mekanisme utama dalam melakukan identifikasi serta pemantauan produk pangan secara terpadu pada area penyimpanan dan etalase penjualan toko kelontong modern. Sistem dirancang untuk mengenali keberadaan produk, merekam informasi identitasnya, serta menghubungkannya dengan data masa simpan dan status kedaluwarsa secara otomatis. Pendekatan ini ditujukan untuk meminimalkan ketergantungan pada pemeriksaan manual berbasis visual yang cenderung tidak akurat akibat keterbatasan ukuran barcode, perbedaan desain kemasan, serta kondisi pencahayaan yang bervariasi di lingkungan toko [8][10][13].

Dari sisi keandalan operasional dan perlindungan data, pengembangan sistem berpedoman pada standar internasional seperti ISO/IEC 27001 terkait manajemen keamanan informasi dan ISO/IEC 20000-1 mengenai pengelolaan layanan teknologi informasi, sehingga data hasil proses sensing tetap terjaga integritas, konsistensi, dan keandalannya sepanjang siklus operasional sistem [43], [44]. Selain itu, aspek keselamatan kerja dan kesesuaian dengan lingkungan ritel turut dipertimbangkan agar pemasangan serta penggunaan perangkat sensing tidak mengganggu aktivitas toko maupun menimbulkan potensi risiko bagi pekerja [45].

b. *Computer Performance*

Sistem dituntut memiliki kapasitas pemrosesan yang cukup untuk menangani volume data produk pangan yang besar, meliputi informasi identitas produk, waktu penerimaan, tanggal kedaluwarsa, serta posisi penyimpanan. Kemampuan ini memungkinkan sistem melakukan evaluasi kondisi stok secara berkala guna mengidentifikasi produk yang mendekati atau telah

melewati masa kedaluwarsa, sekaligus mendeteksi anomali data stok yang berpotensi menyebabkan kehilangan atau tertukarnya produk [46].

Dalam proses analisis data dan pengambilan keputusan otomatis, faktor keandalan serta pengendalian risiko kesalahan pemrosesan menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, sistem dirancang dengan mengacu pada prinsip manajemen risiko sistem informasi sebagaimana tercantum dalam ISO/IEC 23894 dan ISO/IEC 27035, agar hasil pemrosesan tidak menghasilkan keputusan yang keliru dan berdampak negatif terhadap pengelolaan persediaan [47], [48]. Secara nasional, seluruh aktivitas pemrosesan data elektronik diselaraskan dengan ketentuan dalam UU ITE untuk menjamin keabsahan hukum dan akuntabilitas keputusan yang dihasilkan oleh sistem [49].

c. *Data Management Capability*

Seluruh aktivitas pengelolaan produk pangan, mulai dari pencatatan produk masuk, perpindahan lokasi penyimpanan, hingga pembaruan informasi kedaluwarsa, harus terdokumentasi dalam bentuk log data yang sistematis. Rekaman data ini berperan penting sebagai dasar pelaksanaan audit, analisis kinerja operasional, serta penelusuran penyebab apabila terjadi selisih stok atau permasalahan terkait kedaluwarsa produk [50].

Pengelolaan data tersebut dirancang dengan mengacu pada ISO/IEC 27002:2022 yang menekankan pengendalian keamanan informasi, khususnya pada mekanisme pencatatan dan pemantauan aktivitas sistem, serta NIST SP 800-92 sebagai pedoman pengelolaan log [51], [52]. Pendekatan ini bertujuan memastikan data historis tersimpan secara aman dan tidak mudah dimodifikasi. Di tingkat nasional, penerapan ini selaras dengan PP No. 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik (PSTE), sehingga data log dapat dimanfaatkan sebagai bukti pendukung dalam proses audit dan pengawasan [53].

d. *Notification Capability*

Sistem dilengkapi dengan mekanisme pemberitahuan otomatis yang menyampaikan informasi kepada petugas toko ketika terdeteksi produk yang

mendekati masa kedaluwarsa, telah melewati batas kedaluwarsa, atau ditemukan ketidaksesuaian data stok. Keberadaan notifikasi ini bertujuan memastikan tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum kondisi tersebut menimbulkan kerugian finansial maupun risiko terhadap keamanan konsumen [54].

Perancangan sistem notifikasi mengikuti acuan ISO/IEC 30141 mengenai arsitektur referensi Internet of Things (IoT) serta ETSI EN 303 645 yang mengatur keamanan perangkat IoT, sehingga proses penyampaian informasi berlangsung secara stabil, aman, dan terlindungi dari potensi penyalahgunaan [55], [56]. Informasi notifikasi dapat disajikan melalui antarmuka dashboard sistem maupun melalui pesan digital yang diterima langsung oleh petugas terkait.

e. *Warning Capability*

Sistem dirancang untuk mampu memberikan peringatan dini terhadap kondisi kritis yang berpotensi menimbulkan dampak signifikan, seperti akumulasi produk dengan masa simpan yang hampir habis atau kegagalan sistem dalam memperbarui data stok. Fitur ini memastikan sistem berperan aktif dalam mendeteksi dan merespons kondisi abnormal, bukan sekadar berfungsi sebagai alat pencatat data [57].

Bentuk peringatan dapat diwujudkan melalui indikator visual atau alarm sistem, dengan tetap mempertimbangkan aspek keselamatan kerja serta keandalan operasional. Dari perspektif regulatif, penerapan fitur ini sejalan dengan ISO/IEC 27035 terkait manajemen insiden keamanan informasi serta ISO 45001:2018, sehingga mekanisme peringatan yang diterapkan tidak hanya responsif, tetapi juga aman dan sesuai dengan praktik keselamatan di lingkungan ritel [48], [45].

2. Fitur Tambahan

a. *Monitoring Capability*

Sistem dilengkapi dengan dashboard pemantauan yang menampilkan kondisi stok produk, sebaran tanggal kedaluwarsa, serta indikator peringatan secara ringkas dan mudah dipahami. Penyajian informasi dalam bentuk visual ini

bertujuan membantu petugas toko memahami kondisi persediaan secara cepat, terutama pada jam operasional sibuk, tanpa harus melakukan pemeriksaan fisik terhadap setiap produk satu per satu [58].

Dalam perancangannya, antarmuka sistem mengacu pada prinsip interaksi manusia–sistem sebagaimana diatur dalam ISO 9241-210, yang menekankan kejelasan informasi, kemudahan penggunaan, serta pencegahan kesalahan pengguna dalam pengambilan keputusan [59]. Dari sisi keamanan aplikasi, sistem menerapkan pedoman OWASP ASVS untuk melindungi aplikasi dari kerentanan umum seperti akses tidak sah dan kebocoran data [60]. Ketentuan ini diperkuat oleh regulasi nasional, yaitu UU ITE dan PP No. 71 Tahun 2019, yang mewajibkan penyelenggara sistem elektronik menjaga keandalan layanan dan keamanan data pengguna [49], [53].

b. Low Power Consumption

Dikarenakan sistem dirancang untuk beroperasi secara terus-menerus selama jam operasional toko, efisiensi energi menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan sejak tahap perancangan. Perangkat sensing dan komputasi yang digunakan dipilih serta dikonfigurasi agar memiliki konsumsi daya rendah, sehingga sistem dapat beroperasi stabil dalam jangka panjang tanpa meningkatkan beban biaya listrik secara signifikan [61].

Pendekatan ini diselaraskan dengan ISO 50001:2018 yang mengatur penerapan sistem manajemen energi untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan energi [61]. Selain itu, pengukuran konsumsi daya mengacu pada IEC 62301 yang menetapkan metode evaluasi konsumsi energi perangkat elektronik, khususnya pada kondisi siaga [62]. Dengan demikian, sistem tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga mendukung praktik operasional yang berkelanjutan.

c. User Friendly

Sistem dibuat dengan fokus pada kemudahan pakai agar dapat dijalankan secara alami oleh pengguna dari berbagai latar belakang teknis, termasuk

karyawan toko yang tidak punya keahlian khusus di bidang teknologi informasi. Tampilan sistem didesain sederhana, jernih, dan mudah dimengerti, sehingga pengguna dapat cepat memahami fungsi utamanya seperti pelacakan stok, status kadaluarsa, serta pemberitahuan peringatan tanpa butuh pelatihan yang rumit atau berulang kali [63].

Prinsip ramah pengguna ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan operasional yang timbul dari faktor manusia (human error), mempercepat penerapan sistem, serta menekan penolakan terhadap perubahan dari sistem manual ke sistem yang menggunakan teknologi [63]. Dengan desain interaksi yang seragam, penggunaan ikon dan petunjuk visual yang mudah dipahami, serta alur kerja yang mirip dengan proses harian toko, sistem diharapkan bisa dipakai secara efisien tanpa mengganggu kegiatan operasional yang sudah ada. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip perancangan interaksi antara manusia dan sistem sesuai standar ISO 9241-210, yang menitikberatkan pada aspek kemudahan penggunaan (usability), kejelasan informasi, serta kenyamanan pengguna saat berinteraksi dengan sistem [59].

d. Adaptive

Sistem dirancang agar mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi operasional toko, seperti fluktuasi jumlah produk, perubahan pola perputaran stok, maupun variasi lingkungan kerja. Kemampuan adaptif ini penting untuk memastikan sistem tetap relevan dan berfungsi optimal meskipun terjadi perubahan kebutuhan operasional dari waktu ke waktu [55].

Konsep adaptasi ini selaras dengan prinsip adaptive systems dalam ISO/IEC 30141 yang menekankan kemampuan sistem untuk merespons perubahan konteks dan beban kerja, serta prinsip perbaikan berkelanjutan dalam ISO 9001:2015 [55], [64]. Dengan demikian, sistem tidak bersifat kaku dan dapat berkembang mengikuti dinamika operasional toko dalam jangka panjang.

e. Kesesuaian terhadap Standarisasi dan Regulasi

Seluruh komponen sistem dirancang dengan memperhatikan kepatuhan terhadap standar dan regulasi yang berlaku, baik yang berkaitan dengan keamanan informasi, keselamatan kerja, maupun perlindungan data. Kepatuhan ini penting agar sistem tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga dapat dioperasikan secara legal dan bertanggung jawab di lingkungan nyata [43].

Penerapan ISO/IEC 27001 memastikan pengelolaan keamanan informasi dilakukan secara sistematis untuk mencegah kebocoran dan penyalahgunaan data, sedangkan ISO 45001 mengatur aspek keselamatan dan kesehatan kerja agar penggunaan perangkat tidak menimbulkan risiko bagi operator [45]. Selain itu, kepatuhan terhadap UU ITE, PP No. 71 Tahun 2019, dan UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi memastikan bahwa pengelolaan data dalam sistem dilakukan sesuai ketentuan hukum nasional dan dapat dipertanggungjawabkan secara formal [49], [53], [65].

Secara menyeluruh, fitur dasar dan fitur tambahan yang dikembangkan dalam sistem ini mencerminkan keterpaduan elemen-elemen utama penyusun sebuah sistem komputer. Proses identifikasi dan pemantauan produk berfungsi sebagai mekanisme masukan yang diperoleh melalui aktivitas penginderaan, sedangkan unit pemrosesan berperan dalam mengolah data identitas produk, waktu penerimaan, dan status kedaluwarsa menjadi informasi yang bernilai operasional. Informasi tersebut selanjutnya dikelola dan disimpan secara sistematis dalam subsistem penyimpanan data, sementara antarmuka dashboard, mekanisme notifikasi, dan peringatan dini bertindak sebagai keluaran sistem yang mendukung proses pengambilan keputusan. Melalui integrasi seluruh komponen tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pencatatan, tetapi sebagai sistem komputer terintegrasi yang mampu melakukan pengolahan informasi secara otomatis untuk mengatasi permasalahan kedaluwarsa produk, kehilangan barang, serta ketidakteraturan dalam pengelolaan stok.

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Subsistem 1 : Kehilangan dan Tertukar

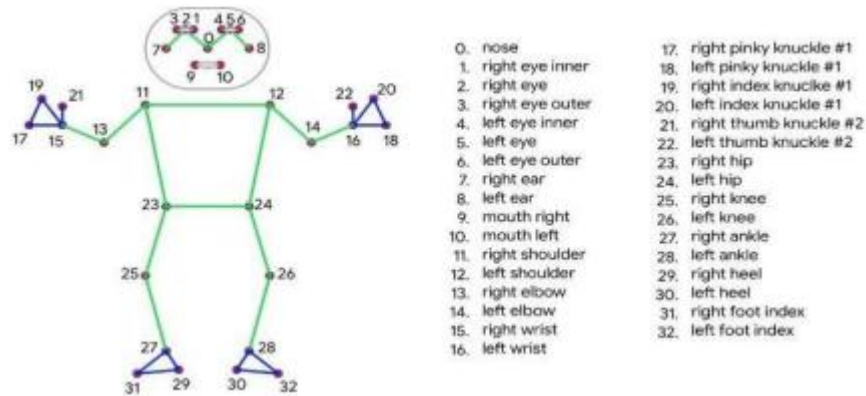
1.2.2.1.1 Solusi 1: Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition (HAR)* Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network (CNN)*

Sistem ini merupakan solusi terintegrasi yang menerapkan teknologi ekstraksi fitur kerangka tubuh (pose estimation) untuk mengatasi permasalahan produk kedaluwarsa, kehilangan produk, serta tertukarnya produk di lingkungan toko kelontong modern. Sistem ini bekerja dengan memantau aktivitas pelanggan pada toko kelontong yang dimana sistem akan memantau interaksi mikro antara tangan pelanggan dengan produk yang ada pada rak toko seperti membedakan antara gerakan mengambil produk, mengembalikan produk atau sekadar menyentuh produk [66]. Untuk menerjemahkan pose estimation menjadi informasi dari aktivitas pelanggan pada toko, sistem menggunakan penerapan komputasi yang bekerja secara berurutan yaitu MediaPipe sebagai pengekstraksi fitur dan Algoritma Convolutional Neural Network sebagai pengklasifikasi pola [70].

MediaPipe adalah framework open-source dari Google yang digunakan untuk membangun aliran pengolahan data sensorik, khususnya data video dan gambar [68]. Dalam konteks pengenalan gerakan tangan, MediaPipe Hand sangat membantu untuk melakukan deteksi dan pelacakan landmark tangan secara waktu nyata [67]. MediaPipe hand merupakan solusi dari pelacakan atau pendeteksian tangan dan jari yang memiliki ketelitian tinggi. Mediapipe memanfaatkan pembelajaran Machine Learning (ML) untuk menyimpulkan 21 3D landmark dan diambil dari 1 frame.



Gambar 1.4 Hand Landmark MediaPipe [67]



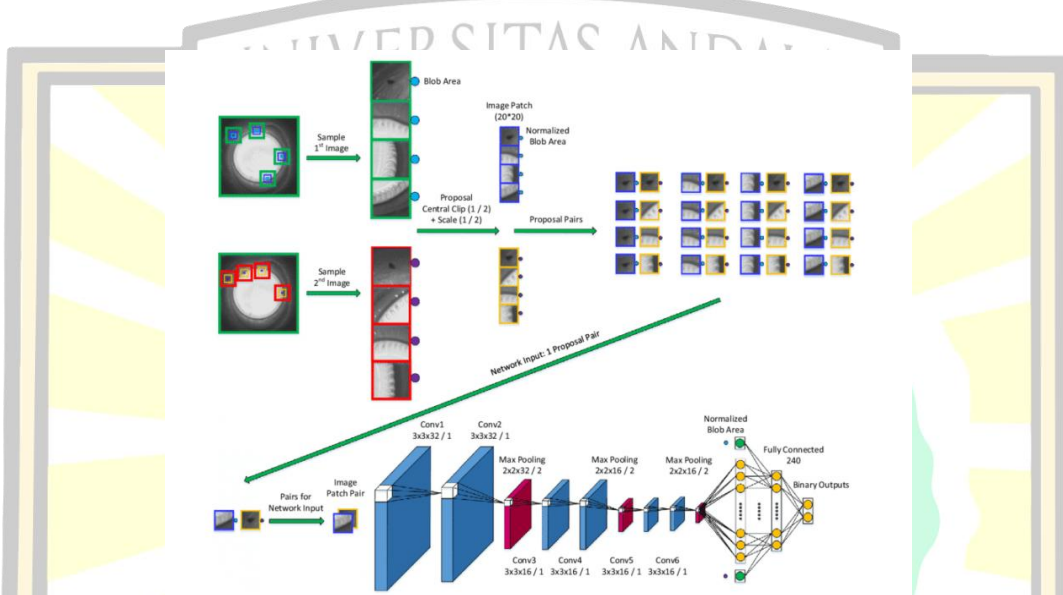
Gambar 1.5 Landmarks MediaPipe Blaze Pose [68]

MediaPipe berperan sebagai lapisan awal dalam proses pemrosesan visual yang berfungsi menyerupai indra penglihatan pada sistem. MediaPipe merupakan sebuah kerangka kerja lintas platform yang dirancang untuk memproses data multimodal secara efisien, khususnya dalam tugas pelacakan pose manusia. Pada sistem ini, MediaPipe dimanfaatkan untuk mengekstraksi informasi pose manusia dari citra video yang diperoleh melalui kamera pengawas rak. Keluaran yang dihasilkan berupa kumpulan koordinat vektor geometris dari titik-titik kunci tubuh manusia (keypoints) yang bersifat ringan, terstruktur, serta relatif minim gangguan dari noise latar belakang, seperti kondisi rak, variasi kemasan produk, maupun perubahan pencahayaan.

Representasi pose dalam bentuk vektor geometris tersebut selanjutnya digunakan sebagai masukan utama bagi modul Human Activity Recognition (HAR). Dengan pendekatan HAR, sistem tidak lagi bergantung pada identifikasi visual produk secara langsung, melainkan pada pola pergerakan serta interaksi manusia terhadap rak. Berbagai pola aktivitas, seperti mengambil barang tanpa mengembalikannya, memindahkan barang antar rak, atau melakukan interaksi tanpa disertai proses transaksi, dapat diidentifikasi sebagai aktivitas yang bersifat abnormal.

Melalui pendekatan ini, deteksi kehilangan tidak dilakukan dengan cara mengenali objek yang hilang secara eksplisit, melainkan melalui analisis perilaku manusia yang menyimpang dari pola aktivitas normal di area rak. Pendekatan tersebut

memungkinkan sistem melakukan deteksi kehilangan secara lebih andal, bahkan ketika produk memiliki bentuk dan kemasan yang serupa. Integrasi MediaPipe dan HAR menjadikan sistem mampu menerapkan pengawasan berbasis perilaku (behavior-based monitoring), sehingga potensi kehilangan barang dapat dideteksi secara proaktif dan real-time berdasarkan aktivitas manusia yang teramati.



Gambar 1.6 Konvolusi dalam Convolutional Neural Network

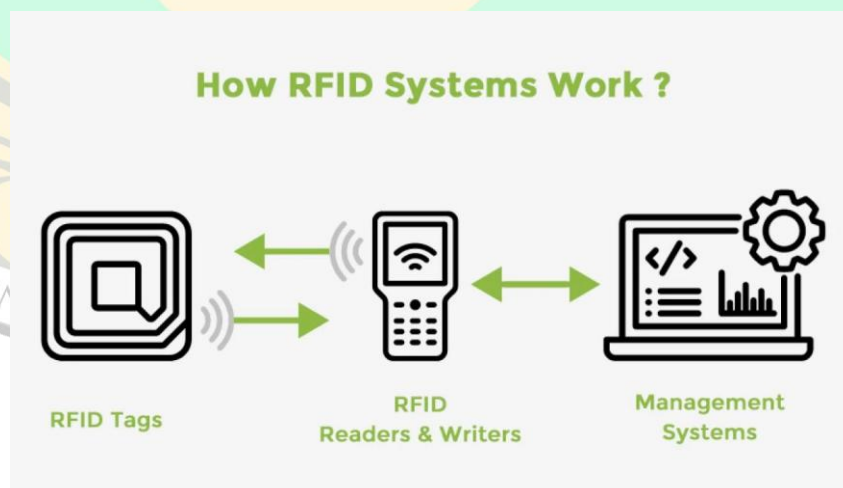
Convolutional Neural Network (CNN) [70]. Meskipun CNN umumnya dikenal untuk pengolahan citra statis, dalam sistem ini arsitekturnya dimodifikasi untuk mengenali pola spasial dan temporal dari urutan koordinat yang dihasilkan MediaPipe. Convolutional Neural Network (CNN) sendiri adalah jenis jaringan saraf tiruan yang sangat efektif untuk analisis data visual seperti citra [69]. Arsitektur CNN dirancang dengan lapisan konvolusi yang berfungsi mengekstrak fitur-fitur penting dari gambar, seperti tepi, sudut, dan tekstur. Fitur-fitur ini kemudian digabungkan melalui lapisan-lapisan berikutnya untuk mengenali pola yang lebih kompleks. Dalam tugas deteksi atau klasifikasi gestur tangan, CNN dapat dilatih untuk membedakan berbagai bentuk gestur berdasarkan pola pikselnya [69].

CNN bekerja dalam proses deteksi kesalahan penempatan barang dengan memanfaatkan citra kondisi rak sebagai input utama untuk dianalisis secara visual. Citra rak diambil secara berkala atau ketika terjadi perubahan kondisi tertentu, kemudian diproses oleh CNN untuk mengekstrak fitur-fitur visual penting seperti

bentuk kemasan, warna dominan, batas antar produk, serta posisi relatif barang terhadap rak dan produk lain di sekitarnya. Melalui lapisan konvolusi, CNN mampu mengenali pola penempatan barang yang sesuai dengan tata letak rak yang telah ditentukan. Hasil ekstraksi fitur tersebut kemudian dibandingkan dengan pola penempatan yang dianggap normal atau benar, yang telah dipelajari CNN pada tahap pelatihan. Apabila susunan barang pada citra yang dianalisis menunjukkan perbedaan signifikan, seperti produk berada pada rak yang tidak sesuai, posisi yang tertukar, atau susunan yang tidak semestinya, maka sistem akan mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai kesalahan penempatan. Informasi ini selanjutnya diteruskan ke modul sistem lain untuk pencatatan dan pemberian peringatan, sehingga kesalahan penempatan barang dapat segera diketahui dan ditangani.

1.2.2.1.2 Solusi 2 : Sistem Identifikasi Nirkontak Berbasis Zona Rak

Solusi ini mengusulkan penerapan sistem pemantauan rak yang mengandalkan Teknologi Identifikasi Nirkontak dengan pendekatan berbasis zona penyimpanan untuk mendeteksi kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Dalam sistem ini, setiap unit produk dibekali identitas digital unik yang dapat dikenali tanpa kontak fisik, sementara setiap rak atau bagian rak didefinisikan sebagai suatu zona identitas yang memiliki pembaca identifikasi tersendiri[70]. Dengan demikian, keberadaan produk tidak hanya diketahui secara global, tetapi juga dapat dipetakan berdasarkan lokasi zonanya.



Gambar 1.7 Cara kerja RFID

Prinsip kerja sistem dimulai ketika produk ditempatkan pada rak tertentu. Identitas nirkontak yang melekat pada produk akan merespons sinyal elektromagnetik yang

dipancarkan oleh perangkat pembaca di zona rak tersebut. Respons ini terjadi melalui mekanisme induksi atau backscatter, di mana energi dari gelombang elektromagnetik pembaca digunakan untuk mengaktifkan identitas produk dan mengirimkan kembali kode uniknya. Setiap kali produk berada dalam jangkauan zona tertentu, sistem akan mencatat pasangan data berupa (ID produk, ID zona, waktu) ke dalam basis data.

Secara konseptual, sistem memodelkan posisi produk sebagai fungsi diskret terhadap waktu. Jika $Z_i(t)$ menyatakan zona tempat produk ke- i terdeteksi pada waktu t , maka kondisi normal didefinisikan sebagai:

$$Z_i(t) = Z_i(t - 1)$$

selama tidak terdapat aktivitas transaksi atau pemindahan yang sah. Apabila sistem mendeteksi perubahan zona:

$$Z_i(t) \neq Z_i(t - 1)$$

tanpa adanya catatan transaksi atau proses restocking yang valid, maka kondisi tersebut diklasifikasikan sebagai anomali lokasi. Anomali ini dapat mengindikasikan dua kemungkinan utama, yaitu produk dipindahkan ke rak yang tidak sesuai (tertukar) atau produk keluar dari seluruh zona rak (kehilangan) [71].

Dalam konteks kehilangan barang, sistem mendeteksi kondisi ketika identitas produk tidak lagi terdeteksi oleh pembaca pada zona mana pun dalam interval waktu tertentu. Secara matematis, jika:

$$\forall Z \in Z, Z_i(t) = \emptyset$$

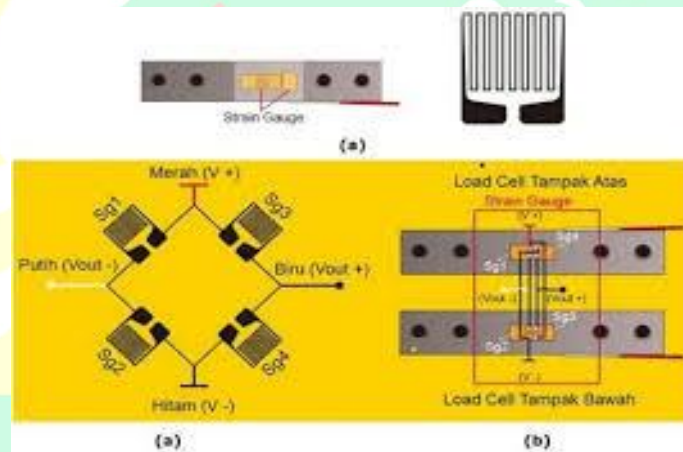
maka produk ke- i dianggap hilang atau berada di luar area pengawasan rak. Pendekatan ini memungkinkan deteksi kehilangan tanpa memerlukan pengamatan visual.

Meskipun solusi ini mampu mendeteksi kehilangan dan kesalahan penempatan produk, keterbatasan utamanya terletak pada ketiadaan konteks aktivitas manusia. Sistem tidak dapat mengetahui siapa yang memindahkan produk, bagaimana proses

pemindahan terjadi, atau apakah perpindahan tersebut disebabkan oleh pelanggan, staf, atau aktivitas restocking. Deteksi bersifat reaktif, karena anomali baru diketahui setelah perubahan zona terjadi.

1.2.2.1.3 Solusi 3 : Sistem Pemantauan Perubahan Kondisi Beban rak

Solusi ini memanfaatkan sensor berat yang terpasang pada struktur rak untuk memantau perubahan massa sebagai indikator perubahan jumlah produk. Setiap rak diperlakukan sebagai satuan sistem fisik yang memiliki beban total tertentu, di mana beban tersebut merupakan akumulasi massa seluruh produk yang berada di atasnya. Sensor berat yang digunakan bekerja berdasarkan prinsip strain gauge, yaitu elemen resistif yang mengalami perubahan hambatan listrik ketika mengalami deformasi mekanik akibat beban[72][73].



Gambar 1.8 Cara Kerja Load Cell [24]

Strain gauge umumnya disusun dalam konfigurasi jembatan Wheatstone, yang memungkinkan perubahan resistansi kecil dikonversi menjadi perubahan tegangan listrik yang terukur. Secara konseptual, ketika gaya F (akibat berat produk) diberikan pada rak, terjadi regangan ϵ pada elemen sensor, yang berbanding lurus dengan perubahan resistansi:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \epsilon$$

dengan K sebagai gauge factor. Perubahan resistansi ini menghasilkan perbedaan tegangan keluaran yang kemudian dikonversi menjadi nilai berat total rak.

$$W(t) = \sum_{i=1}^n m_i(t)$$

di mana $W(t)$ adalah berat total rak dan $m_i(t)$ adalah massa produk ke- i . Ketika terjadi pengambilan atau penambahan produk, sistem akan mendeteksi perubahan berat:

$$\Delta W = W(t_2) - W(t_1)$$

Perubahan berat ini diperlakukan sebagai suatu *event*. Jika ΔW bernilai negatif dan tidak terdapat transaksi yang tercatat, maka sistem mengindikasikan potensi kehilangan barang. Sebaliknya, perubahan berat yang tidak sesuai dengan pola rak tertentu dapat mengindikasikan kesalahan penempatan produk[74].

Dengan pendekatan ini, solusi mampu mendeteksi kehilangan barang secara kuantitatif dan secara tidak langsung mengindikasikan kesalahan penempatan apabila pola perubahan berat tidak sesuai dengan konfigurasi rak. Namun, sistem tidak memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi produk secara individual. Semua perubahan diperlakukan sebagai agregat massa, sehingga sistem tidak mengetahui produk mana yang diambil atau dipindahkan.

Keterbatasan lain yang signifikan adalah sensitivitas terhadap gangguan eksternal, seperti getaran, tekanan sementara akibat aktivitas manusia, atau penataan ulang produk tanpa pengambilan. Kondisi ini dapat menghasilkan *noise* pada sinyal berat dan meningkatkan kemungkinan *false positive*. Selain itu, sistem tidak mampu memahami penyebab perubahan berat, karena tidak ada informasi kontekstual mengenai aktivitas manusia yang terjadi di sekitar rak

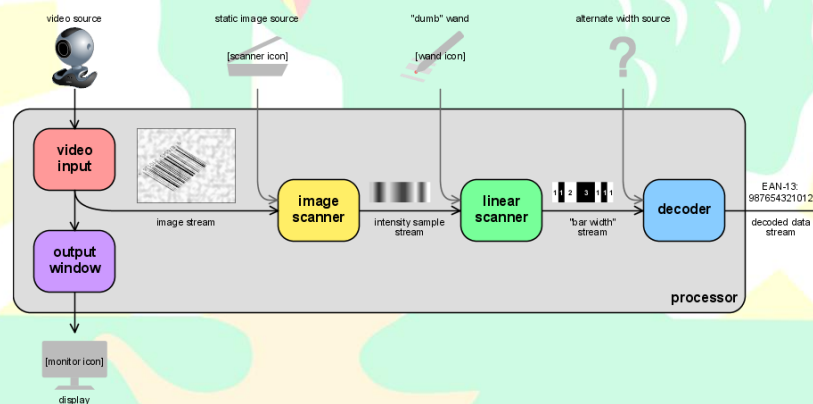
1.2.2.2 Subsistem 2 : Kedaluwarsa pada Produk

1.2.2.2.1 Solusi 1: Sistem Inventaris dan Pemantauan Kedaluwarsa menggunakan *Barcode* dan *Optical Character Recognition (OCR)*

Pada solusi pertama, Sistem ini dikembangkan untuk mengotomatisasi pengecekan produk kedaluwarsa. Prosesnya terdiri dari dua tahap menggunakan satu kamera terintegrasi. Pertama, pengguna memindai barcode untuk mengenali produk. Setelah identitas produk terverifikasi atau terdaftar baru, sistem beralih ke tahap kedua, yaitu mendeteksi tanggal kedaluwarsa pada kemasan menggunakan *computer vision*. Hasil deteksi kemudian diverifikasi oleh pengguna sebelum disimpan ke database untuk pemantauan inventaris.

Saat menerima barang, kamera melakukan identifikasi produk dengan pemindaian *barcode*. Sistem mengaktifkan *engine* pemindai *barcode* untuk membaca dan mengidentifikasi *barcode* pada produk tersebut .

Pyzbar adalah sebuah *library* perangkat lunak yang berfungsi sebagai *wrapper* Python untuk *engine* ZBar yang tangguh. ZBar sendiri adalah *engine open-source* yang dirancang untuk membaca berbagai jenis simbologi *barcode* (EAN, UPC, dan QR Code) dari berbagai sumber, seperti *stream* video . Metode ini dipilih karena merupakan standar industri yang sangat cepat dan akurat untuk mengidentifikasi produk terdaftar. Penggunaan Pyzbar memungkinkan integrasi yang mudah ke dalam aplikasi berbasis Python (yang juga akan menangani *pipeline* OCR) dan memiliki akurasi deteksi yang baik, bahkan terbukti berjalan di perangkat *embedded* .

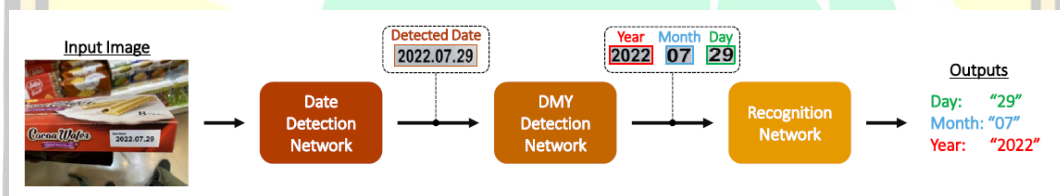


Gambar 1.9 Cara kerja barcode

Secara teknis, cara kerjanya dalam solusi ini adalah dengan menggunakan kamera resolusi tinggi sebagai pemindai *barcode* tipe *imager* . Perangkat lunak Pyzbar akan menganalisis gambar dari kamera, membaca pola garis dan spasi (1D) atau matriks (2D), dan menerjemahkannya kembali ke *barcode* numerik atau alfanumerik . Setelah *barcode* ini berhasil diekstrak oleh Pyzbar, *barcode* tersebut digunakan sebagai kunci pencarian utama di *database* inventaris. Sistem akan memeriksa *database* server; jika *barcode* ini belum ada di *database*, sistem akan meminta pengguna untuk mendaftarkan produk. Pengguna akan memasukkan data inti seperti Kode Item (ID utama produk, misal: 'INDOMIE-G'), Nama Produk (misal: 'Indomie Goreng'), Kategori (misal: Makanan Ringan, Minuman, Bumbu), dan Posisi Rak (misal: Rak 1, Baris Atas). Ini memungkinkan beberapa *barcode* (misal:

DUS, PAK, PCS) untuk dihubungkan ke satu Kode Item yang sama. Jika *barcode* sudah terdaftar, sistem akan menampilkan data Kode Item yang terhubung dengannya [75].

Setelah produk berhasil diidentifikasi atau didaftarkan, sistem akan menampilkan instruksi (misal: "Arahkan kamera ke tanggal kedaluwarsa"). Pengguna kemudian mengarahkan kamera ke area tanggal kedaluwarsa pada kemasan produk. Perangkat lunak kemudian secara otomatis menjalankan *pipeline* ekstraksi teks: pertama, menggunakan deteksi objek untuk menemukan lokasi teks tanggal, dan kedua, menggunakan OCR untuk mengekstrak teks tersebut menjadi format tanggal yang dapat dibaca mesin.



Gambar 1.10 Cara Kerja OCR

Setelah lokasi teks ditemukan, *engine Optical Character Recognition (OCR)*, yaitu Tesseract, diaktifkan untuk membacanya. OCR adalah teknologi yang mengonversi gambar teks menjadi format teks yang dapat diedit oleh mesin. Solusi ini menggunakan pendekatan *pipeline* yang mana sistem hanya mengambil *crop* gambar kecil dari *bounding box* yang disediakan oleh YOLO. *Crop* gambar yang bersih dan terfokus ini kemudian diumpankan ke *engine* Tesseract. Karena OCR hanya perlu menganalisis gambar kecil yang relevan, kinerjanya (akurasi dan latensi) pada perangkat *embedded* terbukti sangat baik; sebuah studi tahun 2023 pada *perangkat single-board* menunjukkan *pipeline* serupa (detektor + Tesseract) mencapai akurasi 99.75% dan 89% lebih cepat daripada alternatif lain seperti EasyOCR. Untuk format *dot matrix* yang sulit, diperlukan langkah pra-pemrosesan OpenCV seperti *Dilation* (penebalan) agar Tesseract dapat membacanya secara akurat [76].

Tanggal yang diekstrak ini kemudian di-*parsing* (misal: menggunakan Regex untuk menangani berbagai format seperti "dd/mm/yy" atau "yymmdd"). Sebelum

disimpan ke *database*, sistem akan menampilkan tanggal yang telah diekstrak kepada pengguna untuk konfirmasi. Pengguna dapat memverifikasi apakah tanggal tersebut sudah benar. Jika hasil OCR tidak akurat, pengguna memiliki opsi untuk memperbaiki tanggal tersebut secara manual melalui antarmuka. Setelah dikonfirmasi (baik secara otomatis maupun manual), data tanggal yang valid ini disimpan di server, terhubung dengan kode item.

Setelah kedua langkah selesai dan data terkonfirmasi, sistem akan menampilkan dua informasi penting bagi pengguna di layar: Lokasi rak yang sudah didaftarkan sebelumnya (misal: "Letakkan Indomie Goreng di Rak 1"), dan (2) "Indomie Goreng tersisa [X] hari" (dihitung dari tanggal yang baru diekstrak).

Sistem secara otomatis memantau *database* dan memberikan peringatan proaktif kepada pengguna (misalnya, melalui aplikasi *dashboard* atau notifikasi) saat produk akan kedaluwarsa. Waktu peringatan penarikan produk diatur berdasarkan masa simpan, yaitu "Aman", "Warning" (misal: H-7), atau "Expired".

Solusi ini secara fundamental mengubah proses pengecekan dari yang reaktif (staf mencari produk di rak) menjadi proaktif dan terdigitalisasi (sistem memberitahu staf produk mana yang harus ditarik). Sistem ini mengatasi masalah pengecekan manual yang lambat dan rawan kelalaian dengan menciptakan *database* inventaris *real-time* yang melacak setiap *batch* produk.

1.2.2.2.2 Solusi 2 : Sistem Identifikasi dan Pemantauan Stok Barang Kemasan Menggunakan Teknologi RFID

Solusi kedua menggunakan teknologi RFID untuk otomatisasi identifikasi dan pelacakan barang. Setiap produk atau kemasan diberi tag RFID berisi kode unik, dan pembaca (reader) RFID ditempatkan di titik-titik strategis. Ketika barang dibawa masuk atau keluar, reader secara nirkabel membaca tag tanpa perlu pandang-silang seperti barcode. Data pembacaan ini langsung tercatat dalam sistem inventaris secara *real-time*. Oleh karena itu, kesalahan pencatatan manual dapat diminimalkan dan kecepatan pendataan barang meningkat [77]. Fil Ardi dkk. (2024) melaporkan bahwa integrasi RFID dalam sistem inventaris barang secara

signifikan mengurangi kesalahan ketik dan mempercepat proses pengelolaan stok, sekaligus memungkinkan pemantauan lokasi dan jumlah barang secara langsung .



Gambar 1.11 Cara kerja RFID

Cara kerja RFID secara umum dimulai dari :

1. Tahap pertama adalah interogasi sinyal (signal interrogation). Perangkat *RFID Reader* yang terpasang pada rak atau gerbang IoT memancarkan gelombang elektromagnetik secara terus-menerus atau periodik. Gelombang ini berfungsi untuk memberi daya (energizing) pada tag RFID pasif yang tertempel pada kemasan produk. Berbeda dengan kamera, proses ini tidak memerlukan cahaya visual dan dapat menembus objek non-logam, memungkinkan pengambilan data meskipun produk tertutup produk lain.
2. Tahap kedua adalah manajemen anti-collision. Pada tahap ini, *reader* menangani situasi di mana ratusan tag merespons sinyal secara bersamaan. Algoritma *anti-collision* (seperti ALOHA atau *Tree Walking*) diterapkan untuk mengurutkan respons tag sehingga setiap produk dapat diidentifikasi secara unik tanpa saling tumpang tindih sinyal. Ini menggantikan proses *preprocessing* citra karena fokusnya adalah menjernihkan jalur komunikasi data, bukan menjernihkan visual.
3. Tahap ketiga adalah ekstraksi identitas (tag identification). Setelah sinyal stabil, *reader* menangkap *Electronic Product Code* (EPC) dari setiap tag. EPC adalah identitas unik yang membedakan satu barang dengan barang lainnya (bahkan untuk jenis produk yang sama). Tahap ini setara dengan deteksi objek, di mana sistem memastikan keberadaan suatu item spesifik di lokasi tersebut berdasarkan respons sinyal yang diterima.

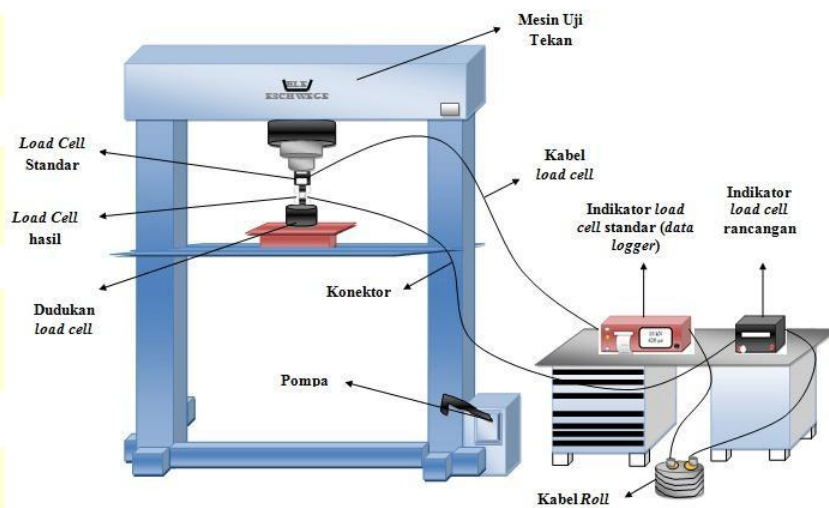
4. Tahap keempat adalah pembacaan data memori (memory data reading). Setelah ID produk dikenali, sistem melakukan pembacaan lebih dalam pada *User Memory Bank* dari tag RFID tersebut (jika data tanggal disimpan di chip) atau melakukan *query* ke basis data lokal berdasarkan EPC yang didapat.
5. Tahap kelima adalah validasi dan komputasi logika kedaluwarsa. Data tanggal yang diperoleh (baik dari chip maupun *database*) divalidasi formatnya. Sistem kemudian membandingkan tanggal tersebut dengan tanggal *real-time* server. Logika komputasi diterapkan untuk mengategorikan status produk: "Aman", "Warning" (misal: H-7), atau "Expired".
6. Tahap terakhir adalah sinkronisasi inventaris cloud. Data status produk yang telah diproses dikirim ke *cloud server*. Karena RFID memungkinkan pembacaan massal (*bulk reading*), pembaruan status inventaris di *dashboard* dapat terjadi secara instan untuk ratusan *item* sekaligus. Sistem dapat memicu peringatan otomatis ke staf toko mengenai lokasi spesifik produk yang mendekati kedaluwarsa tanpa perlu staf mencari satu per satu secara manual.

Bandara et al. (2024) menekankan bahwa sistem berbasis RFID meningkatkan *akuntabilitas* dan manajemen aset dengan menyediakan pelacakan barang *real-time* dan penyimpanan data historis yang terpusat. Secara praktis, ketika dipasangkan dengan database yang memuat informasi tanggal kadaluwarsa, sistem RFID dapat membantu memastikan bahwa produk yang pertama masuk dapat diidentifikasi dan dirotasi terlebih dahulu. Dengan demikian, penggunaan RFID memperkuat visibilitas stok di seluruh toko dan gudang, memudahkan auditor melihat status barang secara instan, serta mempermudah penerapan praktik *First-Expired-First-Out* untuk menghindari pemborosan karena produk kedaluwarsa[78].

1.2.2.2.3 Solusi 3 : Sistem Monitoring Stok dan Kadaluwarsa Barang Kemasan Menggunakan Sensor Beban (Load Cell) pada Rak Toko Kelontong

Solusi ketiga mengusulkan penerapan sistem Internet of Things (IoT) dengan sensor beban (load cell) yang dipasang pada rak atau wadah penyimpanan barang.

Sensor ini secara terus-menerus mengukur berat total barang di rak, sehingga perubahan berat (misalnya saat barang diambil atau ditambah) langsung terdeteksi. Data berat tersebut dikirim secara nirkabel ke sistem pusat (melalui modul Wi-Fi atau lainnya) untuk diolah [79], [81]. Dengan mengetahui berat awal barang dan berat satuan tiap jenis, sistem dapat mengestimasi jumlah barang secara otomatis. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan stok real-time tanpa perlu pencatatan manual yang mudah keliru [79].



Gambar 1.12 Cara Kerja Load Cell

Setiap rak atau wadah penyimpanan barang dilengkapi dengan sensor load cell yang berfungsi mengukur total berat barang yang tersimpan. Ketika barang diletakkan atau diambil dari rak, sensor load cell akan mendeteksi perubahan berat dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk dikonversi menjadi data berat digital. Berdasarkan berat satuan tiap produk yang telah tersimpan dalam sistem, mikrokontroler menghitung jumlah barang yang tersedia secara otomatis [79], [81]. Data jumlah stok yang diperoleh selanjutnya dikirimkan ke server atau cloud melalui koneksi internet. Sistem menyimpan dan memperbarui informasi stok secara real-time sehingga dapat diakses melalui dashboard pemantauan [80]. Informasi tanggal kedaluwarsa barang dimasukkan ke dalam basis data dan diintegrasikan dengan data stok yang diperoleh dari sensor beban. Sistem kemudian membandingkan tanggal saat ini dengan tanggal kedaluwarsa produk untuk menentukan status barang. Apabila stok

menipis atau terdapat barang yang mendekati masa kedaluwarsa, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada pemilik toko [80]. Dengan mekanisme ini, sistem mendukung pengelolaan stok yang efisien dan membantu mencegah kerugian akibat barang kedaluwarsa [80], [81].

Hartanto dkk. (2024) membangun sistem IoT pada toko kecil dengan sensor beban, sehingga setiap kali stok mulai menipis sistem mengirim notifikasi pengisian ulang secara otomatis [81]. Implementasi tersebut terbukti meningkatkan efisiensi manajemen stok hingga ~30% dan menurunkan risiko kehabisan atau kelebihan stok yang dapat menyebabkan pemborosan (seperti pembusukan produk segar) [81]. Demikian pula, Khamdi et al. (2024) menunjukkan bahwa timbangan digital berbasis load cell terhubung IoT mampu menyampaikan informasi stok (misal mur/baut) dengan akurasi hampir sempurna (akurasi pembacaan berat 99,95% dan akurasi hitungan stok 100%) [81]. Dengan demikian, solusi load cell IoT ini mengotomasi pemantauan kuantitas barang dan menyediakan data akurat untuk pengambilan keputusan restok, sehingga mencegah terjadinya kehabisan stok secara tiba-tiba [80] [81].

1.2.2.3 Subsistem 3 : Ketersediaan Stok

1.2.2.2.1 Solusi 1: Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Menggunakan Radio Frequency Identification(RFID)

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi identifikasi non-kontak yang menggunakan gelombang radio untuk membaca data dari tag (label) yang dipasang pada objek [82]. RFID reader memancarkan sinyal radio yang ditangkap oleh tag. Tag RFID menyimpan informasi unik dalam memori kecil, kemudian memancarkan kembali sinyal radio berisi data tersebut saat dilewati reader. Metode ini memungkinkan pembacaan otomatis tanpa kontak fisik langsung dan tanpa memerlukan orientasi sejajar antara tag dan reader [82], [83]. Label RFID terbagi dua jenis: pasif (tanpa sumber daya sendiri, mengambil energi sinyal reader untuk mengirim data) dan aktif (menggunakan baterai untuk transmisi). Dengan RFID, proses pencatatan inventaris menjadi cepat dan real-time, sehingga pencarian barang lebih efisien dan risiko kesalahan manusia (misalnya salah catat atau hilang catatan) dapat dikurangi drastis [83], [85].

RFID dapat diintegrasikan dengan prosedur FIFO (First-In, First-Out) untuk memastikan barang lama keluar lebih dulu. Misalnya, Natan dkk. (2021) merancang rak gulungan khusus pada gudang sehingga gulungan pertama kali masuk diletakkan di sisi tertinggi rak, lalu pertama kali diambil di sisi terendah [82]. Desain ini memudahkan penerapan aturan FIFO secara mekanis. Dengan dukungan sistem informasi berbasis RFID, setiap barang tercatat saat masuk/keluar secara otomatis, sehingga secara sistem stok dapat diproses dalam urutan waktu masuknya [82], [84]. Studi lain menambahkan inovasi sensor dan AI: Hadi dkk. (2024) menggunakan tag RFID bersensor tekanan (pressure sensing) untuk mendeteksi posisi dan kondisi stok, dipadu kecerdasan buatan guna memperkirakan letak barang berdasarkan kode sensor. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan stok real-time menurut metode FIFO, serta mengoptimalkan pengelolaan persediaan dan mengurangi limbah produk karena simpanan terlalu lama [84], [85]



Gambar 1.13 Alur Kerja RFID

Cara Kerja Sistem RFID dengan Metode FIFO :

1. Barang yang datang ke toko dikelompokkan berdasarkan jenis dan waktu kedatangan, kemudian setiap kelompok barang sejenis diberikan satu RFID tag sebagai identitas [82][83]..
2. Data barang seperti kode barang, nama barang, jumlah stok, dan tanggal masuk dicatat dan disimpan ke dalam database sistem [84]..

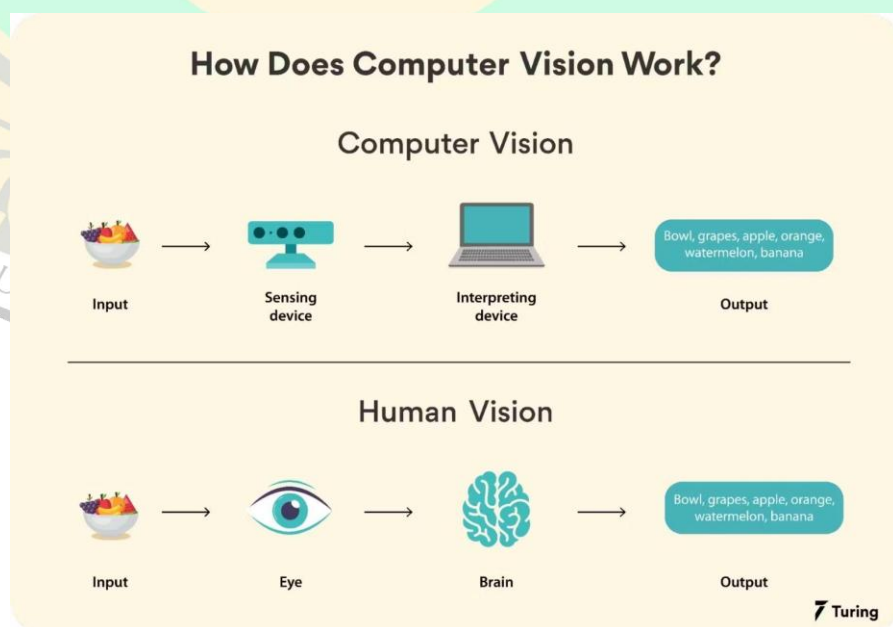
3. RFID reader membaca RFID tag secara otomatis tanpa kontak fisik, lalu mengirimkan data ke mikrokontroler dan server secara real-time [82][83].
4. Sistem mengurutkan data stok barang berdasarkan waktu masuk menggunakan metode FIFO [82][84].
5. Saat terjadi penjualan, stok dikurangi dari barang yang pertama kali masuk terlebih dahulu [82].
6. Perubahan stok diperbarui dan ditampilkan pada website secara real-time [84][85].
7. Sistem mengirimkan notifikasi kepada pemilik toko jika stok mencapai batas minimum [84][85].

Penggunaan RFID memberikan beberapa keunggulan signifikan dalam manajemen persediaan. Pertama, otomatisasi penghitungan, proses scanning otomatis mengeliminasi input manual, sehingga pengambilan data inventaris menjadi jauh lebih cepat dan real-time [83], [85]. Hal ini meningkatkan akurasi stok karena mengurangi kesalahan manusia (misal pencatatan keliru atau hilang) dalam pencatatan keluar-masuk barang. Kedua, visibilitas stok meningkat: setiap barang dapat dipantau secara waktu nyata di gudang atau toko [84], [85]. Menurut studi bibliometrik, pemasangan sistem RFID telah terbukti meningkatkan tingkat layanan dan mengurangi persediaan berlebih (stok lama) secara drastis studi menyebutkan perusahaan besar mampu menurunkan inventaris hingga 70% setelah mengadopsi RFID [85]. Ketiga, efisiensi operasional dan biaya berkurang Natan dkk. mengestimasi penghematan jarak tempuh dan percepatan pencarian berkat tata letak gudang yang ditopang RFID [82], sementara Quiroz-Flores et al. (2023) menunjukkan bahwa RFID dapat memangkas waktu dan biaya logistik, terutama pada bisnis kecil (SMEs) yang umumnya memiliki tingkat kesalahan stok tinggi [85]. Secara keseluruhan, RFID meningkatkan efisiensi proses inventaris (penghitungan stok lebih cepat, persediaan terpantau real-time) dan akurasi data barang, sehingga manajemen stok menjadi lebih handal dan responsif terhadap dinamika pasar [82]–[85].

1.2.2.2.2 Solusi 2: Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis Smart Shelf Menggunakan Kamera dan Computer Vision

Sistem Smart Shelf berbasis computer vision merupakan solusi modern untuk pemantauan stok barang secara otomatis, khususnya pada toko kelontong yang memiliki jumlah produk beragam dan perlu pemantauan stok [86]. Sistem ini dirancang untuk menggantikan cara pengelolaan stok yang masih bersifat manual, sehingga mengurangi kesalahan pencatatan dan keterlambatan dalam mengetahui stok barang yang menipis atau habis.

Dalam pendekatan ini, sistem menggunakan kamera digital yang terpasang pada rak untuk mengambil citra visual secara berkala. Citra tersebut kemudian dianalisis menggunakan algoritma object detection sehingga sistem dapat mengenali dan menghitung jumlah produk yang tersedia di rak [86], [88]. Metode computer vision ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi perubahan kondisi rak tanpa perlu melibatkan input manusia secara langsung atau menempelkan tag fisik seperti barcode atau RFID pada barang, sehingga lebih fleksibel dan efisien untuk berbagai bentuk produk yang beragam. Hal ini telah dibuktikan oleh penelitian yang mengembangkan *real-time shelf stock monitoring system* berbasis algoritma deteksi objek seperti YOLOv7 untuk pengelolaan stok di lingkungan ritel, yang menunjukkan bahwa pengenalan objek efektif untuk memantau kondisi rak toko secara kontinu dalam kegiatan inventarisasi stok [86], [87].



Gambar 1.14 Alur Kerja Computer Vision

Alur kerja sistem dimulai dari pengambilan citra rak oleh kamera, dilanjutkan dengan pemrosesan citra untuk mendeteksi objek barang yang ada di dalam gambar. Algoritma object detection adalah teknik computer vision yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai lokasi dan identitas objek dalam bentuk bounding box serta jumlah unit objek yang terdeteksi dalam satu gambar [87], [88]. Model deteksi seperti YOLO (*You Only Look Once*) dikenal karena mampu melakukan deteksi objek secara cepat dan akurat dalam satu langkah komputasi, sehingga cocok untuk diterapkan pada sistem pemantauan stok [yang mengharuskan respons real-time] [87].

Selanjutnya, hasil deteksi objek diproses untuk memperoleh informasi jumlah stok yang tersedia. Data jumlah barang yang dihitung oleh sistem kemudian dikirim melalui jaringan IoT ke server atau platform penyimpanan data secara berkala [86]. Dengan integrasi ini, informasi stok dapat diolah lebih lanjut di server dan ditampilkan di dashboard pemantauan berbasis web atau aplikasi seluler sehingga pemilik toko dapat melihat kondisi stok barang secara real-time dari jarak jauh [86].

Salah satu keunggulan pendekatan computer vision dalam sistem manajemen stok adalah kemampuannya mengenali berbagai macam objek tanpa kontak fisik, sehingga tidak terbatas pada satu jenis produk atau perlengkapan tambahan seperti tag. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan seperti deteksi rak yang kosong, estimasi lokasi barang di rak, serta sebagai input untuk prediksi *restock* secara otomatis di masa mendatang berdasarkan pola perubahan stok [86], [88].

1.2.2.2.3 Solusi 3: Sistem Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis NFC (Near Field Communication) dengan Metode FIFO

Near Field Communication (NFC) merupakan teknologi komunikasi jarak dekat yang dikembangkan dari Radio Frequency Identification (RFID). Teknologi ini memungkinkan pertukaran data secara nirkabel (wireless) dengan memanfaatkan induksi medan magnet antar perangkat elektronik, sehingga komunikasi dapat berlangsung dalam jarak sangat dekat tanpa memerlukan kontak fisik langsung

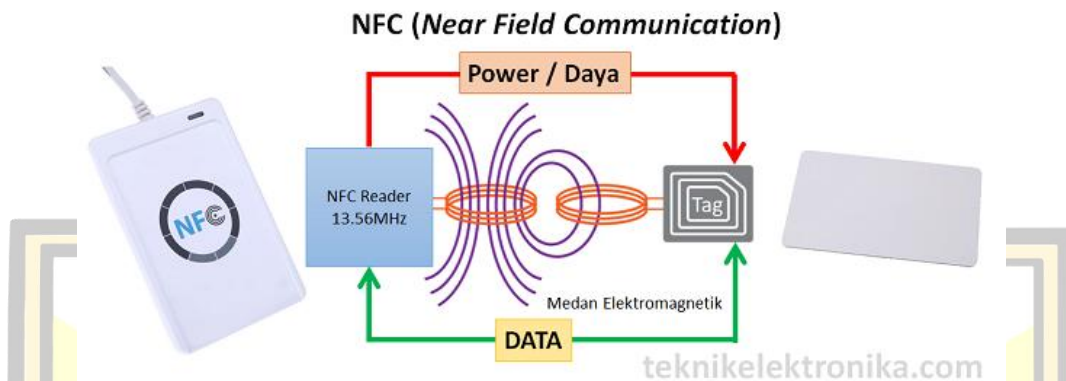
[89]. NFC mendukung komunikasi dua arah yang aman, sehingga sangat sesuai untuk digunakan dalam proses transaksi dan pengaksesan data oleh pengguna [90].

Dalam implementasinya, NFC menggunakan media berbasis kartu sebagai elemen utama untuk membaca dan menyimpan informasi. Proses komunikasi dapat dilakukan pada jarak kurang dari 4 cm dengan kecepatan transfer data hingga 424 kbps. Melalui kartu NFC tersebut, pengguna dapat melakukan proses komunikasi, autentikasi, serta transaksi dengan mekanisme kontrol akses yang sederhana, yaitu melalui sentuhan [89].

Teknologi NFC bekerja menggunakan transmisi sinyal radio jarak pendek, serupa dengan teknologi Bluetooth dan WiFi, sehingga tidak memerlukan konsumsi daya listrik yang besar [89]. Sistem NFC melibatkan dua komponen utama, yaitu NFC Reader dan NFC Tag. NFC Reader umumnya berupa perangkat smartphone atau tablet yang telah dilengkapi dengan fitur NFC. Sementara itu, NFC Tag merupakan perangkat kecil yang terdiri dari chip Integrated Circuit (IC) NFC dengan antena radio yang terintegrasi, yang berfungsi untuk menyimpan berbagai jenis informasi sesuai dengan kebutuhan pengguna [90].

NFC Tag tersedia dalam beberapa tipe kapasitas memori, antara lain Tipe 1 dengan kapasitas 96 byte, Tipe 2 dengan kapasitas 48 byte yang dapat diperluas hingga 2 KB, Tipe 3 dengan kapasitas 2 KB, serta Tipe 4 dengan kapasitas memori hingga 32 KB. Pemilihan tipe NFC Tag disesuaikan dengan kebutuhan penyimpanan data pada sistem yang akan digunakan [89].

Penerapan metode FIFO (First In First Out) pada sistem berbasis NFC memiliki mekanisme kerja yang serupa dengan sistem sebelumnya yang menggunakan RFID sebagai pembaca data. Pada metode ini, NFC Reader membaca NFC Tag berdasarkan kelompok barang sejenis yang datang pada waktu yang sama. Tag NFC ditempelkan pada kemasan terluar atau kemasan sekunder, seperti kardus atau plastik pembungkus. Apabila dalam satu kedatangan terdapat lebih dari satu jenis barang, maka digunakan lebih dari satu tag, di mana setiap tag mewakili satu jenis barang. Tag yang ditempelkan berfungsi sebagai tag induk yang merepresentasikan seluruh barang sejenis dalam satu kelompok.



Gambar 1.15 Alur Kerja NCF

Selanjutnya, informasi tambahan seperti kode barang, nama barang, dan tanggal transaksi dicatat untuk melengkapi data barang. Data tersebut kemudian diproses dan dikirimkan ke database melalui mikrokontroler yang terhubung ke sistem. Informasi stok dan transaksi dapat diakses melalui website admin maupun aplikasi mobile pada smartphone yang berfungsi sebagai NFC Reader. Seluruh data yang ditampilkan berasal dari database pada server yang telah menerima dan mengolah data yang dikirimkan oleh mikrokontroler.

Dengan menerapkan metode FIFO berdasarkan urutan barang yang pertama kali masuk, maka barang tersebut akan menjadi prioritas untuk digunakan atau dijual terlebih dahulu. Metode FIFO ini diterapkan pada sistem keluaran (output) untuk mengatur alur transaksi barang, sehingga penjual dapat melakukan pengecekan stok secara lebih terstruktur. Penerapan metode ini memungkinkan pengelolaan persediaan yang lebih efisien, menghemat waktu operasional, serta meminimalkan risiko kelebihan maupun kekurangan stok barang yang berpotensi merugikan penjual dan konsumen.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

1.2.3.1 Analisis Usulan Solusi Subsistem 1

Berdasarkan tiga usulan solusi pada subsistem 1 yang telah ditawarkan sebelumnya, perlu dilakukan analisis untuk menentukan solusi yang akan dipilih untuk membantu dalam mengatasi permasalahan yang terjadi akibat pengelolaan secara

manual yang terjadi pada toko kelontong. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode House Of Quality untuk membandingkan setiap solusi yang ditawarkan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu fitur dasar dan fitur tambahan, yang telah dijelaskan pada bagian 1.2.1.

Tabel 1.3 House Of Quality Subsystem 1

Customer Requirements			Functional Requirements										
Direction of Improvement			▲	▼	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲	
Customer Requirements		Customer Importance	Sensing Capability	Computer Performance	Data Management	Notification Capability	Warning Capability	Monitoring Capability	Low Power Consumption	User Friendly	Adaptive	Sesuai Standar dan Regulasi	
Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis		5 25%	△	○	○	△	△	○	⊙	○	○	○	
Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja		4 15%	○	△	○	○	⊙	⊙	△	⊙	⊙	⊙	
Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data		5 20%	○	⊙	⊙	○	△	○	△	△	⊙	⊙	
Keterbatasan Kemampuan dan Literasi Teknologi Sumber Daya Manusia		4 15%	△	△	○	○	△	⊙	△	⊙	⊙	○	
Keterbatasan Anggaran Implementasi Sistem (Low Cost Constraint) ± Rp8.000.000,		5 15%	○	⊙	○	△	△	○	⊙	○	○	○	
Batasan Waktu Pengembangan dan Implementasi Sistem (± 6 bulan)		4 10%	○	⊙	○	△	△	○	△	○	○	○	
Jumlah		27 100%											
Importance Rating Sum			61	93	91	53	43	95	67	87	107	102	799
Relative Weight (%)			7,63%	11,63%	11,38%	6,63%	5,38%	11,88%	8,38%	10,88%	13,39%	12,76%	99,94%
Solusi 1 (Sistem Pengawasan Rak Berbasis Human Activity Recognition (HAR) Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma Convolutional Neural Network (CNN))			⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	△	○	⊙	⊙	4,44
Solusi 2 (Sistem Identifikasi Nirkontak Berbasis Zona Rak)			○	○	○	○	△	○	⊙	○	○	○	3,32
Solusi 3 (Sistem Pemantauan Perubahan Kondisi Beban Rak)			○	△	○	○	○	○	⊙	○	△	○	2,98

Tabel 1.4 Keterangan Simbol House Of Quality

Simbol	Nilai	Hubungan
⊙	5	Erat
○	3	Normal
△	1	Jauh
Kosong	0	Tidak ada hubungan

Pada Tabel 1.3 diperlihatkan hasil analisis House of Quality (HOQ) yang menggambarkan hubungan antara fitur tambahan dan fitur utama yang telah ditetapkan sebelumnya. Setiap hubungan direpresentasikan dengan simbol yang menunjukkan tingkat kekuatan hubungan, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 1.4

Untuk *Constraint* keterbatasan infrastruktur operasional dan sumber daya teknis memiliki hubungan yang kuat dengan Low Power Consumption. Hal ini

dikarenakan kondisi infrastruktur yang minim mewajibkan sistem untuk hemat energi agar tetap dapat beroperasi. *Constraint* ini memiliki hubungan normal pada *computer performance*, *data management*, *monitoring capability*, *user friendly*, *adaptive*, dan sesuai standar dan regulasi, karena fitur-fitur ini perlu dioptimalkan agar seimbang dengan kemampuan perangkat keras yang terbatas. Sementara itu, hubungannya lemah terhadap *sensing capability*, *notification capability*, dan *warning capability* karena fitur-fitur dasar ini memiliki beban komputasi ringan sehingga tidak terlalu terhambat oleh keterbatasan infrastruktur.

Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja memiliki hubungan yang kuat dengan *Warning Capability*, *Monitoring Capability*, *User Friendly*, *Adaptive*, dan *Sesuai Standar dan Regulasi*. Hal ini karena agar prosedur operasional baru dapat diterima, sistem harus mudah digunakan, mampu beradaptasi, serta aktif memberikan peringatan dan pengawasan untuk menegakkan kepatuhan. Aspek ini memiliki hubungan normal dengan *Sensing Capability*, *Data Management*, dan *Notification Capability*. Adapun hubungannya lemah terhadap *Computer Performance* dan *Low Power Consumption*, karena pengguna yang sedang beradaptasi lebih mementingkan kemudahan pemakaian daripada spesifikasi teknis di balik layar.

Untuk *Constraint Keamanan Informasi* memiliki hubungan kuat dengan *computer performance*, *data management*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*, karena perlindungan data yang ketat membutuhkan daya komputasi tinggi untuk enkripsi, manajemen penyimpanan yang aman, kemampuan menangkal ancaman baru, serta kepatuhan mutlak terhadap hukum privasi. *Constraint* ini memiliki hubungan normal dengan *sensing capability*, *notification capability*, dan *monitoring capability*, karena fitur-fitur tersebut berperan sebagai pendukung dalam mendeteksi dan melaporkan anomali keamanan. Sementara itu, hubungan dengan *warning capability*, *low power consumption*, dan *user friendly* tergolong lemah, karena fokus keamanan berada pada proteksi data di sistem belakang (*back-end*) yang tidak selalu berkaitan langsung dengan kemudahan penggunaan atau penghematan daya.

Constraint keterbatasan literasi SDM memiliki hubungan kuat dengan *monitoring capability*, *user friendly*, dan *adaptive*, karena pengguna dengan kemampuan teknis terbatas membutuhkan sistem yang mampu mengawasi kesalahan secara otomatis, memiliki tampilan yang sangat mudah dipahami, dan fleksibel membantu pengguna. Constraint ini memiliki hubungan normal dengan *data management*, *notification capability*, dan *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*, karena fitur ini berjalan di latar belakang untuk mendukung pengguna. Sementara itu, hubungan dengan *sensing capability*, *computer performance*, *warning capability*, dan *low power consumption* tergolong lemah, karena kemampuan teknis SDM tidak secara langsung memengaruhi kinerja sensor atau komputasi sistem.

Untuk *constraint* Keterbatasan Anggaran memiliki hubungan kuat dengan *computer performance* dan *low power consumption*, karena sistem yang hemat energi akan menurunkan biaya operasional jangka panjang. *Constraint* ini memiliki hubungan normal dengan *sensing capability*, *data management*, *monitoring capability*, *user friendly*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*, karena fitur-fitur tersebut tetap harus tersedia namun dengan pemilihan spesifikasi yang disesuaikan dengan biaya. Sementara itu, hubungan dengan *notification capability* dan *warning capability* tergolong lemah, karena implementasi fitur notifikasi dan peringatan sederhana umumnya berbiaya rendah sehingga tidak membebani anggaran.

Constraint batasan waktu pengembangan dan implementasi sistem memiliki hubungan kuat dengan *Computer Performance*, karena pemilihan arsitektur dan performa sistem yang tepat dapat mempercepat pengembangan dan pengujian pada sistem. Hubungan normal terdapat pada *Sensing Capability*, *Data Management*, *Monitoring Capability*, *User Friendly*, *Adaptive*, dan Sesuai Standar dan Regulasi, karena aspek-aspek ini masih dapat disesuaikan dalam waktu terbatas dengan pendekatan modular. Hubungan lemah terjadi pada *Notification Capability*, *Warning Capability*, dan *Low Power Consumption*, karena optimalisasi fitur-fitur tersebut biasanya membutuhkan waktu tambahan untuk penyempurnaan.

Berikut merupakan perhitungan menggunakan House Of Quality dari ketiga solusi yang ditawarkan terhadap fitur dasar dan tambahan, yaitu:

1. Solusi 1 : Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition* (HAR) Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN)

$$= (5 \times 7,63\%) + (5 \times 11,63\%) + (5 \times 11,38\%) + (5 \times 6,63\%) + (5 \times 5,38\%) + (5 \times 11,88\%) + (1 \times 8,38\%) + (3 \times 10,88\%) + (5 \times 13,39\%) + (5 \times 12,76\%) \\ = 4,44$$

2. Solusi 2 : Sistem Identifikasi Nirkontak Berbasis Zona Rak

$$= (3 \times 7,63\%) + (3 \times 11,63\%) + (3 \times 11,38\%) + (3 \times 6,63\%) + (1 \times 5,38\%) + (3 \times 11,88\%) + (5 \times 8,38\%) + (3 \times 10,88\%) + (3 \times 13,39\%) + (3 \times 12,76\%) \\ = 3,32$$

3. Solusi 3 : Sistem Pemantauan Perubahan Kondisi Beban rak

$$= (3 \times 7,63\%) + (1 \times 11,63\%) + (3 \times 11,38\%) + (3 \times 6,63\%) + (3 \times 5,38\%) + (3 \times 11,88\%) + (5 \times 8,38\%) + (3 \times 10,88\%) + (1 \times 13,39\%) + (3 \times 12,76\%) \\ = 2,98$$

Solusi 1, yaitu Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition* (HAR) Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) memiliki hubungan kuat dengan Sensing Capability karena sistem tersebut bergantung sepenuhnya pada kamera sebagai sensor utama untuk melakukan pemantauan aktivitas manusia dan berinteraksi langsung dengan rak produk. Pendekatan berbasis visual menghasilkan penginderaan berkonteks kaya, bukan hanya mendeteksi keberadaan objek namun juga menafsirkan pola gerakan dan aktivitas semantik. Solusi ini juga sangat berhubungan dengan Computer Performance karena pemrosesan data visual, ekstraksi fitur pose, serta inferensi CNN membutuhkan kinerja komputasi yang kuat. Kinerja komputasi diperlukan karena sistem harus bekerja di waktu nyata dan tidak boleh memiliki latensi yang nyata yang mengganggu operasi toko. Pemahaman ini juga bermakna kuat dalam Data Management karena sistem menghasilkan jumlah data besar berupa log aktivitas, hasil klasifikasi, dan metadata kejadian. Sehingga data-data tersebut perlu dikelola secara struktural untuk keperluan audit, analisis pola kehilangan, dan evaluasi operasional jangka panjang. Solusi 1 juga memiliki hubungan kuat dengan Notification Capability dan Warning Capability karena sistem inspeksi dilengkapi

dengan kemampuan memberikan peringatan dan notifikasi otomatis ketika sesuatu terdeteksi, misalnya pengambilan produk tanpa transaksi atau perilaku mencurigakan di sekitar rak. Sistem ini telah dikembangkan untuk melakukan deteksi saat ini daripada respons terhadap inspeksi manusia dan menggunakan dataset simulasi pears-hid, yang memberikan keuntungan besar dalam mendeteksi inspeksi lebih dini.

Sedangkan hubungan lain yang sangat kuat adalah dengan Monitoring Capability, karena sistem ini menyediakan pemantauan visual berbasis dashboard sehingga pengelola toko dapat memantau kondisi rak dan aktivitas toko secara menyeluruh. Sedangkan hubungan yang lemah adalah dengan Low Power Consumption, karena penggunaan kamera dan komputasi berbasis CNN cenderung lebih membutuhkan konsumsi daya dibandingkan solusi non-visual. Namun, tetap dalam optimasi tingkat frame rate, resolusi, dan pemrosesan berbasis edge. Adapun hubungan dengan User Friendly adalah moderat hingga kuat, karena visualisasi memang sangat intuitif tetapi kompleksitas teknologinya tetap memerlukan antarmuka yang dirancang agar mudah digunakan oleh staf toko non-teknis. Dan hubungan lain yang selanjutnya adalah dengan Adaptive dan Sesuai Standar dan Regulasi yang termasuk kuat, karena model ini berbasis perangkat lunak dan pembelajaran mesin sehingga fleksibel untuk dikembangkan lebih lanjut dan dapat sesuai dengan kebijakan keamanan data dan regulasi.

Solusi 2, yaitu Sistem Identifikasi Nirkontak Berbasis Zona Rak Hubungan dengan Monitoring Capability tergolong sangat kuat, mengingat sistem ini dilengkapi dengan pemantauan visual berbasis dashboard yang memungkinkan pengelola toko mengawasi kondisi rak serta aktivitas di area penjualan secara menyeluruh dan real time.

Sementara itu, keterkaitan Solusi 1 dengan aspek Low Power Consumption relatif lemah. Hal ini disebabkan oleh penggunaan kamera dan proses komputasi berbasis CNN yang umumnya membutuhkan daya lebih besar dibandingkan pendekatan non-visual. Walaupun demikian, konsumsi energi tersebut masih berpotensi ditekan melalui optimalisasi parameter seperti frame rate, resolusi gambar, serta penerapan pemrosesan berbasis edge.

Dari sisi *User Friendly*, Solusi 1 menunjukkan hubungan mulai dari sedang. Meskipun sistem menyajikan visualisasi yang cukup intuitif, kompleksitas teknologi yang mendasarinya menuntut perancangan antarmuka yang matang agar tetap mudah dioperasikan oleh staf toko yang tidak memiliki latar belakang teknis. Adapun keterkaitan dengan aspek Adaptive serta Kesesuaian terhadap Standar dan Regulasi dapat dikategorikan kuat. Hal ini karena solusi berbasis perangkat lunak dan pembelajaran mesin memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut, sekaligus memungkinkan penyesuaian terhadap kebijakan keamanan data dan regulasi yang berlaku.

Solusi 3, yaitu Sistem Pemantauan Perubahan Kondisi Beban rak Hubungan Sensing Capability bersifat sedang karena sistem dapat mendeteksi perubahan fisik yang berkaitan dengan perbedaan beban, namun tidak mampu mengidentifikasi produk secara spesifik atau memahami konteks dari perubahan yang terjadi. Hubungan dengan Computer Performance tergolong lemah hingga sedang, karena pemrosesan data beban cukup sederhana dan tidak memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi. Untuk Data Management, hubungan ini juga bersifat sedang, karena sistem perlu mencatat data historis perubahan beban untuk menganalisis perbedaan stok, meskipun informasi yang dihasilkan terbatas. Dalam hal Notification Capability dan Warning Capability, hubungan yang ada juga berada pada tingkat sedang, karena sistem dapat memberikan peringatan ketika terjadi perubahan beban yang tidak sesuai. Namun, sifatnya reaktif dan rentan terhadap gangguan seperti getaran atau penataan barang.

Solusi 3 memiliki hubungan yang kuat dengan Low Power Consumption, karena sensor beban biasanya efisien dalam penggunaan energi dan cocok untuk operasi jangka panjang. Pada aspek *User Friendly*, Solusi 3 menunjukkan hubungan yang sedang (nilai 3), karena sistem ini cukup sederhana dan mudah dipahami, tetapi keterbatasan informasi yang dihasilkan dapat menyulitkan pengguna dalam menginterpretasikan penyebab anomali. Hubungan dengan Adaptive dan Sesuai Standar dan Regulasi juga bersifat sedang, karena sistem dapat diintegrasikan dengan sistem lainnya, meskipun fleksibilitasnya masih terbatas oleh kemampuan sensor fisik yang digunakan.

1.2.3.2 Analisis Usulan Solusi Sub Sistem 2

Tabel 1.5 *House Of Quality* Subsystem 2

Direction of Improvement			Functional Requirements										
			▲	▼	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▼	▲	
Customer Requirements			Customer Importance	Sensing Capability	Computer Performance	Data Management	Notification Capability	Warning Capability	Monitoring Capability	Low Power Consumption	User Friendly	Adaptive	Securitas dan Regulasi
Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis	5	19%	●	○	○	○	○	●	△	○	●	○	
Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja	4	15%	●	○	○	○	●	●	△	●	●	●	
Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data	5	19%	○	●	●	○	△	○	△	△	●	●	
Keterbatasan Kemampuan dan Literasi Teknologi Sumber Daya Manusia	4	15%	○	○	○	○	○	●	△	●	●	○	
Keterbatasan Anggaran Implementasi Sistem (<i>Low Cost Constraint</i>) = Rp8.000.000,	5	19%	○	●	○	△	△	○	●	○	○	○	
Batasan Waktu Pengembangan dan Implementasi Sistem (≅ 6 bulan)	4	15%	○	●	○	△	△	○	△	○	○	○	
Jumlah	27	100%											
Importance Rating Sum			99	109	91	63	61	107	37	87	117	99	870
Relative Weight (%)			11,38%	12,53%	10,46%	7,24%	7,01%	12,30%	4,25%	10,00%	13,45%	11,38%	100%
Solusi 1: Sistem Inventaris dan pemantauan Kedaluwarsa menggunakan Barcode dan OCR (OCR)			●	○	●	●	●	●	△	●	●	●	4,58
Solusi 2: Sistem Identifikasi dan Pemantauan Stok Barang Kemasan Menggunakan Teknologi RFID			○	●	●	●	●	○	○	●	△	○	3,92
Solusi 3 : Sistem Monitoring Stok dan Kedaluwarsa Barang Kemasan Menggunakan Sensor Beban (Load Cell) pada Rak			△	●	△	○	○	●	○	○	△	△	2,65

Tabel 1.6 Keterangan Simbol *House Of Quality*

Simbol	Nilai	Hubungan
⊙	5	Erat

○	3	Normal
△	1	Jauh
Kosong	0	Tidak ada hubungan

Berdasarkan Tabel 1.6 hasil analisis *House of Quality* (HOQ) menunjukkan hubungan antara *customer requirements* dan *functional requirements* dalam pengembangan sistem pemantauan stok dan tanggal kadaluarsa barang kemasan. Setiap hubungan dinyatakan menggunakan simbol yang merepresentasikan tingkat kekuatan hubungan, kemudian dikonversi ke nilai numerik untuk menghitung *importance rating*. Hasil perhitungan ini menghasilkan *relative weight* yang menunjukkan tingkat prioritas masing-masing *functional requirement*.

Konstrain Keterbatasan infrastruktur operasional dan sumber daya teknis memiliki hubungan kuat dengan *sensing capability* dan *monitoring capability*. Hal ini menunjukkan bahwa keterbatasan infrastruktur menuntut sistem yang memiliki kemampuan sensor dan pemantauan yang andal agar proses pendeteksian stok dan tanggal kadaluarsa tetap berjalan secara otomatis tanpa ketergantungan tinggi pada intervensi manual. Hubungan sedang terlihat pada *computer performance*, *data management*, *notification capability*, *warning capability*, *user friendly*, dan *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*, karena aspek-aspek tersebut tetap diperlukan namun dapat disesuaikan dengan kemampuan perangkat. Sementara itu, hubungan dengan *low power consumption* tergolong lemah, karena efisiensi energi lebih berperan sebagai pendukung daripada kebutuhan utama pada constraint ini.

Konstrain perubahan proses operasional dan alur kerja menunjukkan hubungan kuat dengan *sensing capability*, *warning capability*, *monitoring capability*, *user friendly*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*. Hubungan ini mengindikasikan bahwa perubahan alur kerja di toko kelontong membutuhkan sistem yang mampu melakukan deteksi otomatis, memberikan peringatan dini, mudah digunakan, serta fleksibel mengikuti prosedur operasional yang berlaku. Hubungan sedang terdapat pada *computer performance*, *data management*, dan *notification capability*. Adapun hubungan dengan *low power consumption*

tergolong lemah karena adaptasi operasional lebih menekankan aspek fungsional dibandingkan efisiensi energi.

Konstrain keterbatasan keamanan informasi dan perlindungan privasi data memiliki hubungan kuat dengan *computer performance*, *data management*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan sistem untuk memproses data secara aman, menyimpan informasi dengan mekanisme proteksi yang memadai, serta mematuhi regulasi terkait keamanan data. Hubungan sedang terlihat pada *sensing capability*, *notification capability*, dan *monitoring capability*. Sementara itu, hubungan dengan *warning capability*, *low power consumption*, dan *user friendly* tergolong lemah karena aspek keamanan lebih terfokus pada pengolahan dan pengelolaan data di sisi sistem.

Konstrain kemampuan dan literasi teknologi sumber daya manusia menunjukkan hubungan kuat dengan *monitoring capability*, *user friendly*, dan *adaptive*. Hal ini mengindikasikan bahwa pengguna dengan literasi teknologi yang terbatas memerlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan otomatis, memiliki antarmuka sederhana, serta mampu menyesuaikan diri dengan pola penggunaan pengguna. Hubungan sedang terdapat pada *sensing capability*, *computer performance*, *data management*, *notification capability*, *warning capability*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*. Adapun hubungan dengan *low power consumption* tergolong lemah karena aspek ini tidak secara langsung memengaruhi kemampuan pengguna dalam mengoperasikan sistem.

Konstrain keterbatasan anggaran implementasi sistem memiliki hubungan kuat dengan *computer performance* dan *low power consumption*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang memiliki efisiensi pemrosesan dan konsumsi energi yang rendah akan membantu menekan biaya implementasi dan operasional. Hubungan sedang terlihat pada *sensing capability*, *data management*, *monitoring capability*, *user friendly*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*. Sementara itu, hubungan dengan *notification capability* dan *warning capability* tergolong lemah karena fitur-fitur tersebut dapat diimplementasikan dengan biaya relatif rendah.

Konstrain batasan waktu pengembangan dan implementasi sistem menunjukkan hubungan kuat dengan *computer performance*. Pemilihan arsitektur dan performa sistem yang tepat akan mempercepat proses pengembangan, integrasi, dan pengujian sistem. Hubungan sedang terdapat pada *sensing capability*, *data management*, *monitoring capability*, *user friendly*, *adaptive*, serta *kesesuaian terhadap standar dan regulasi*. Adapun hubungan dengan *notification capability*, *warning capability*, dan *low power consumption* tergolong lemah karena optimalisasi fitur-fitur tersebut membutuhkan waktu tambahan.

Berikut merupakan perhitungan menggunakan House Of Quality dari ketiga solusi yang ditawarkan terhadap fitur dasar dan tambahan, yaitu:

1. Solusi 1 : Sistem Inventaris dan Pemantauan Kedaluwarsa Menggunakan Barcode dan *Optical Character Recognition* (OCR)

$$\begin{aligned}
 &= (5 \times 11,38\%) + (3 \times 12,53\%) + (5 \times 10,46\%) + (5 \times 7,24\%) + \\
 &\quad (5 \times 7,01\%) + (5 \times 12,30\%) + (1 \times 4,25\%) + (5 \times 10\%) + \\
 &\quad (5 \times 13,45\%) + (5 \times 11,38\%) \\
 &= 4,58
 \end{aligned}$$

2. Solusi 2 : Sistem Identifikasi dan Pemantauan Stok Barang Kemasan Menggunakan Teknologi RFID

$$\begin{aligned}
 &= (3 \times 11,38\%) + (5 \times 12,53\%) + (5 \times 10,46\%) + (5 \times 7,24\%) + \\
 &\quad (5 \times 7,01\%) + (5 \times 12,30\%) + (3 \times 4,25\%) + (5 \times 10\%) + \\
 &\quad (1 \times 13,45\%) + (3 \times 11,38\%) \\
 &= 3,92
 \end{aligned}$$

3. Solusi 3 : Sistem Monitoring Stok dan Kadaluwarsa Barang Kemasan Menggunakan Sensor Beban (*Load Cell*) pada Rak Toko Kelontong

$$\begin{aligned}
 &= (1 \times 11,38\%) + (5 \times 12,53\%) + (1 \times 10,46\%) + (3 \times 7,24\%) + \\
 &\quad (3 \times 7,01\%) + (5 \times 12,30\%) + (5 \times 4,25\%) + (3 \times 10\%) + \\
 &\quad (1 \times 13,45\%) + (1 \times 11,38\%) \\
 &= 2,65
 \end{aligned}$$

Ditinjau dari Sensing Capability, Solusi 1 memiliki hubungan yang sangat kuat karena menggunakan kamera sebagai sensor multifungsi yang mampu menangkap

data visual mentah dari kemasan. Melalui proses akuisisi citra, sistem ini dapat mengidentifikasi kode identitas sekaligus mengekstraksi informasi tekstual tanggal kedaluwarsa secara langsung dari label fisik. Hal ini sangat berbeda dengan Solusi 2 yang memiliki hubungan sedang, meskipun mampu mengidentifikasi banyak barang sekaligus melalui frekuensi radio, ia hanya bergantung pada data yang telah diprogram sebelumnya ke dalam tag. Sementara itu, Solusi 3 memiliki hubungan lemah karena sensor beban hanya memberikan satu dimensi data (massa), yang tidak mampu membedakan jenis produk jika memiliki berat yang serupa.

Dalam aspek Computer Performance, Solusi 2 dan 3 menunjukkan keunggulan efisiensi karena hanya melibatkan pengolahan data digital sederhana dan sinyal elektrik linear, sehingga beban kerja prosesor sangat rendah. Sebaliknya, Solusi 1 menuntut kinerja komputasi yang tinggi karena harus menjalankan serangkaian proses mulai dari pra-pemrosesan citra untuk memperbaiki kualitas gambar, segmentasi karakter, hingga pengenalan pola teks. Namun, tingginya kebutuhan komputasi ini terjustifikasi oleh kedalaman informasi yang dihasilkan, yang tidak dapat dicapai oleh pemrosesan data sederhana pada solusi lainnya.

Pada fitur Data Management, Solusi 1 dan 2 memiliki hubungan sangat kuat dalam mengintegrasikan hasil pembacaan ke dalam basis data terpusat. Solusi 1 unggul dalam hal auditabilitas, karena mampu menyimpan bukti visual (gambar) sebagai referensi validasi data stok. Solusi 2 mampu mengelola inventaris dalam jumlah besar dengan cepat, namun integritas datanya sangat bergantung pada sinkronisasi antara tag fisik dan database pusat. Di sisi lain, Solusi 3 memiliki hubungan lemah hingga sedang karena manajemen datanya hanya bersifat estimatif, di mana sistem harus melakukan kalkulasi berulang untuk menebak jumlah barang berdasarkan total berat yang terdeteksi pada rak.

Terkait Notification dan Warning Capability, Solusi 1 memberikan kepastian tertinggi karena peringatan kedaluwarsa didasarkan pada data aktual yang terbaca dari kemasan produk di lapangan. Solusi 2 memiliki hubungan sedang karena notifikasi kedaluwarsa hanya bisa muncul jika data waktu tersebut sudah diinput dengan benar ke dalam sistem sebelumnya. Solusi 3 berada pada level lemah karena peringatan hanya bersifat kuantitatif (stok menipis), dan sistem tidak memiliki cara

untuk memperingatkan pengguna mengenai barang yang sudah busuk atau kedaluwarsa di atas rak.

Dilihat dari Monitoring Capability, Solusi 1 memungkinkan pengawasan yang komprehensif karena dasbor dapat menampilkan status visual barang secara *real-time*. Solusi 2 menawarkan pemantauan stok yang cepat namun kurang dalam detail kondisi fisik, sedangkan Solusi 3 sangat efektif untuk pemantauan ketersediaan barang secara berkelanjutan namun minim konteks identitas. Pada fitur Low Power Consumption, Solusi 3 adalah pemenangnya dengan hubungan sangat kuat karena sensor fisik memerlukan energi yang sangat kecil. Solusi 1 memiliki hubungan lemah karena aktivitas sensor gambar dan prosesor yang intensif daya, meskipun ini dapat dimitigasi dengan mekanisme aktivasi sensor hanya saat diperlukan.

Dari sisi User Friendly, Solusi 1 dan 2 memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik melalui identifikasi otomatis yang jelas pada layar, sementara Solusi 3 terkadang membingungkan pengguna jika terjadi perubahan berat yang tidak disengaja. Terakhir, pada aspek *Adaptive* serta Sesuai Standar dan Regulasi, Solusi 1 unggul telak dengan hubungan sangat kuat. Hal ini dikarenakan sistem pengolahan citra bersifat universal; ia dapat langsung mengenali produk apa pun yang sudah memiliki label standar retail global (barcode dan tanggal kedaluwarsa) tanpa perlu memodifikasi produk tersebut. Sebaliknya, Solusi 2 memerlukan biaya infrastruktur tambahan untuk menempelkan tag pada setiap unit barang, dan Solusi 3 mengharuskan modifikasi fisik pada rak toko, yang menjadikannya kurang adaptif terhadap perubahan tata letak atau jenis barang yang beragam.

Berdasarkan analisis teknis dan perhitungan bobot kepentingan fitur yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai akhir yang menunjukkan efektivitas masing-masing usulan. Melalui metode *weighted scoring*, didapatkan hasil akhir bagi ketiga solusi sebagai berikut: Solusi 1 memperoleh nilai tertinggi sebesar 4,58, disusul oleh Solusi 2 dengan nilai 3,92, dan Solusi 3 dengan nilai 2,65.

1.2.3.3 Analisis Usulan Solusi Sub Sistem 3

Berdasarkan tiga usulan solusi pada subsistem 2 yang telah ditawarkan sebelumnya, perlu dilakukan analisis untuk menentukan solusi yang akan dipilih untuk

membantu dalam mengatasi permasalahan yang terjadi akibat pengelolaan secara manual yang terjadi pada toko kelontong. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode House Of Quality untuk membandingkan setiap solusi yang ditawarkan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu fitur dasar dan fitur tambahan, yang telah dijelaskan pada bagian 1.2.1.

Tabel 1.7 House Of Quality Subsistem 3

Customer Requirements			Functional Requirements										
Direction of Improvement			▲	▲	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▼	▲	
Customer Requirements			Customer Importance										
			Sensing Capability (deteksi otomatis)	Computer Performance (kecepatan pemrosesan)	Data Management	Notification Capability (notifikasi)	Warning Capability (peringatan)	Monitoring Capability (pemantauan)	Low Power Consumption (efisiensi daya)	User Friendly	Adaptive	Standar dan Regulasi	
Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis	5	25%	●	●	○	▲	▲	○	●	○	○	○	
Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja	4	15%	○	▲	○	○	●	●	▲	●	●	○	
Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data	5	20%	○	●	●	○	○	○	▲	▲	▲	●	
Keterbatasan Kemampuan dan Literasi Teknologi Sumber Daya Manusia	4	15%	▲	▲	○	○	▲	▲	▲	●	●	○	
Keterbatasan Anggaran Implementasi Sistem (Low Cost Constraint) ± Rp8.000.000,	5	15%	●	●	○	▲	▲	○	●	▲	▲	▲	
Batasan Waktu Pengembangan dan Implementasi Sistem (± 6 bulan)	4	10%	○	●	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	
Jumlah	27	100%											
Importance Rating Sum			93	103	91	53	53	81	67	87	69	73	770
Relative Weight (%)			12,07%	13,37%	11,81%	6,88%	6,88%	10,51%	8,70%	11,29%	8,96%	9,48%	100%
Solusi 1 (Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Menggunakan Radio Frequency Identification(RFID) Dengan Metode FIFO)			●	●	●	●	●	●	○	○	○	●	4,61
Solusi 2 (Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis Smart Shelf Menggunakan Kamera dan Computer Vision)			●	▲	●	○	○	●	○	○	●	○	3,61
Solusi 3 (Sistem Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis NFC dengan Metode FIFO)			○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	3,05

Tabel 1.8 Keterangan Simbol House Of Quality

Simbol	Nilai	Hubungan
●	5	Erat
○	3	Normal
▲	1	Jauh
Kosong	0	Tidak ada hubungan

Pada Tabel 1.7 House of Quality (HoQ) diperlihatkan hasil analisis yang menggambarkan hubungan antara *Customer Requirements* dan *Functional Requirements* pada subsistem ketersediaan stok barang di toko kelontong. Setiap hubungan dinyatakan menggunakan simbol yang merepresentasikan tingkat kekuatan hubungan, yaitu hubungan kuat ($\odot$), sedang ($\bigcirc$), dan lemah ($\triangle$).

Untuk constraint Keterbatasan Infrastruktur Operasional dan Sumber Daya Teknis, terlihat adanya hubungan yang kuat dengan Low Power Consumption (efisiensi daya). Constraint ini juga berhubungan kuat dengan Sensing Capability dan Computer Performance, hal ini disebabkan semakin tinggi kemampuan *Sensing* dan Computer Performance maka sumber daya yang akan dibutuhkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh kondisi toko kelontong yang umumnya memiliki keterbatasan daya listrik dan perangkat pendukung, sehingga sistem ketersediaan stok dituntut untuk bekerja secara hemat energi agar dapat beroperasi secara berkelanjutan. Constraint ini memiliki hubungan sedang dengan Data Management, Monitoring Capability, User Friendly, Adaptive, serta kesesuaian terhadap standar dan regulasi, karena fitur-fitur tersebut tetap diperlukan tetapi harus disesuaikan dengan kapasitas infrastruktur yang tersedia. Sementara itu, hubungan dengan Notification Capability, dan Warning Capability tergolong lemah, karena fungsi deteksi dan notifikasi dasar umumnya tidak memerlukan sumber daya teknis yang besar sehingga tidak terlalu terpengaruh oleh keterbatasan infrastruktur.

Keterbatasan Perubahan Proses Operasional dan Alur Kerja menunjukkan hubungan yang kuat dengan Monitoring Capability, Warning Capability, User Friendly, Adaptive, serta kesesuaian terhadap standar dan regulasi. Hal ini dikarenakan penerapan sistem baru dalam pengelolaan stok membutuhkan mekanisme pemantauan yang jelas, peringatan otomatis ketika stok menipis, serta antarmuka yang mudah dipahami agar dapat diterima oleh pelaku usaha toko kelontong. Kemampuan adaptif dan kepatuhan terhadap standar juga penting agar sistem dapat menyesuaikan diri dengan alur kerja yang sudah ada. Constraint ini memiliki hubungan sedang dengan Sensing Capability, Data Management, dan Notification Capability, karena fitur-fitur tersebut mendukung proses operasional tanpa menjadi hambatan utama. Adapun hubungan dengan Computer Performance

dan Low Power Consumption tergolong lemah, karena dalam tahap adaptasi awal, kemudahan penggunaan lebih diprioritaskan dibandingkan optimasi teknis tingkat lanjut.

Untuk constraint Keterbatasan Keamanan Informasi dan Perlindungan Privasi Data, terdapat hubungan yang kuat dengan Computer Performance, Data Management, Adaptive, serta kesesuaian terhadap standar dan regulasi. Perlindungan data stok, data transaksi, dan informasi operasional memerlukan pengelolaan data yang terstruktur, kemampuan komputasi yang memadai untuk pemrosesan dan pengamanan data, serta kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku. Constraint ini memiliki hubungan sedang dengan Sensing Capability, Notification Capability, dan Monitoring Capability, karena fitur-fitur tersebut berperan sebagai pendukung dalam mendeteksi serta melaporkan anomali data atau aktivitas sistem. Sementara itu, hubungan dengan Warning Capability, Low Power Consumption, dan User Friendly tergolong lemah, karena fokus utama keamanan berada pada pengelolaan data di sisi sistem belakang (*back-end*), bukan pada antarmuka pengguna atau efisiensi daya.

Constraint keterbatasan kemampuan dan literasi teknologi sumber daya manusia (SDM) memiliki hubungan yang kuat dengan Monitoring Capability, User Friendly, dan Adaptive. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan sistem yang mampu memantau kondisi stok secara otomatis, memiliki antarmuka yang sederhana, serta fleksibel dalam membantu pengguna yang memiliki keterbatasan pemahaman teknologi. Constraint ini memiliki hubungan sedang dengan Data Management, Notification Capability, dan kesesuaian terhadap standar dan regulasi, karena proses-proses tersebut berjalan di latar belakang untuk mendukung operasional pengguna. Sementara itu, hubungan dengan Sensing Capability, Computer Performance, Warning Capability, dan Low Power Consumption tergolong lemah, karena keterbatasan literasi SDM tidak secara langsung mempengaruhi kinerja sensor maupun kemampuan komputasi sistem.

Untuk constraint keterbatasan anggaran implementasi sistem (*low cost constraint*), terdapat hubungan yang kuat dengan Sensing Capability, Low Power Consumption dan Computer Performance. Sistem yang hemat energi dan efisien secara komputasi

akan menurunkan biaya operasional jangka panjang serta mengurangi kebutuhan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, sehingga lebih sesuai untuk toko kelontong berskala kecil. Selain itu, kemampuan Sensing akan sangat dipengaruhi oleh komponen yang digunakan, sehingga apabila komponen sensing dapat dioptimisasi akan mengurangi cost secara signifikan. Constraint ini memiliki hubungan sedang dengan Sensing Capability, Data Management, Monitoring Capability, User Friendly, Adaptive, serta kesesuaian terhadap standar dan regulasi, karena fitur-fitur tersebut tetap harus tersedia namun dengan pemilihan teknologi yang ekonomis. Adapun hubungan dengan Notification Capability dan Warning Capability tergolong lemah, karena implementasi notifikasi dan peringatan dasar umumnya tidak membutuhkan biaya besar.

Constraint batasan waktu pengembangan dan implementasi sistem menunjukkan hubungan yang kuat dengan Computer Performance, karena pemilihan arsitektur sistem dan performa yang tepat dapat mempercepat proses pengembangan, integrasi, dan pengujian sistem ketersediaan stok. Hubungan sedang terdapat pada Sensing Capability, Data Management, Monitoring Capability, User Friendly, Adaptive, serta kesesuaian terhadap standar dan regulasi, karena aspek-aspek tersebut masih dapat disesuaikan melalui pendekatan modular dalam waktu yang terbatas. Sementara itu, hubungan lemah terjadi pada Notification Capability, Warning Capability, dan Low Power Consumption, karena optimalisasi fitur-fitur tersebut umumnya memerlukan iterasi tambahan yang dapat memperpanjang waktu implementasi.

Berikut merupakan perhitungan menggunakan House Of Quality dari ketiga solusi yang ditawarkan terhadap fitur dasar dan tambahan, yaitu:

1. Solusi 1 : Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Menggunakan Radio Frequency Identification(RFID) Dengan Metode FIFO

$$\begin{aligned}
 &= (5 \times 12,07\%) + (5 \times 13,37\%) + (5 \times 11,81\%) + (5 \times 6,88\%) + (5 \times 6,88\%) + \\
 &\quad (5 \times 10,51\%) + (3 \times 8,70\%) + (3 \times 11,92\%) + (3 \times 8,96\%) + (5 \times 9,48\%) \\
 &= 4,61
 \end{aligned}$$
2. Solusi 2 : Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis Smart Shelf Menggunakan Kamera dan Computer Vision

$$\begin{aligned}
 &= (5 \times 12,07\%) + (1 \times 13,37\%) + (5 \times 11,81\%) + (3 \times 6,88\%) + (3 \times 6,88\%) + \\
 &(5 \times 10,51\%) + (1 \times 8,70\%) + (3 \times 11,92\%) + (5 \times 8,96\%) + (3 \times 9,48\%) \\
 &= 3,61
 \end{aligned}$$

3. Solusi 3 : Sistem Sistem Manajemen Stok Barang Berbasis NFC dengan Metode FIFO

$$\begin{aligned}
 &= (3 \times 12,07\%) + (3 \times 13,37\%) + (3 \times 11,81\%) + (3 \times 6,88\%) + (1 \times 6,88\%) + \\
 &(3 \times 10,51\%) + (3 \times 8,70\%) + (3 \times 11,92\%) + (5 \times 8,96\%) + (3 \times 9,48\%) \\
 &= 3,05
 \end{aligned}$$

Solusi 1 memiliki hubungan sangat kuat dengan Sensing Capability (deteksi otomatis) karena inti sistem ini bergantung pada kemampuan pembacaan tag RFID untuk mengidentifikasi kelompok barang secara otomatis tanpa kontak fisik. RFID reader memastikan setiap kelompok barang yang masuk tercatat dengan ID unik sehingga sistem dapat melakukan inventarisasi terus-menerus dan real-time.

Selain itu, solusi ini juga menunjukkan hubungan sangat kuat dengan Computer Performance dan Data Management, karena proses pembacaan RFID dalam jumlah banyak, penyelarasan ID tag dengan data produk, serta pencatatan kronologis untuk mendukung FIFO memerlukan arsitektur pemrosesan dan basis data yang andal. Pemrosesan cepat diperlukan agar setiap pembacaan langsung tercermin pada database, memungkinkan kueri stok dan laporan yang akurat.

Hubungan sangat kuat juga terlihat terhadap Notification Capability, Warning Capability, dan Monitoring Capability, karena sistem RFID yang terintegrasi dengan server dapat menghasilkan notifikasi otomatis (mis. stok menipis) dan peringatan (mis. selisih fisik vs data) serta menampilkan status rak pada dashboard pemantauan secara kontinu. Hal ini memungkinkan pengelola toko merespons restock dengan cepat.

Untuk Low Power Consumption, User Friendly, dan Adaptive sistem menunjukkan hubungan sedang, karena perangkat RFID pasif relatif hemat daya (tag pasif) namun reader dan infrastruktur jaringan tetap memerlukan daya dan konfigurasi; dari sisi pengguna, operasi dasar (scan/tagging saat penerimaan) relatif sederhana tetapi memerlukan pelatihan ringan; adaptasi terhadap variasi produk relatif baik (penandaan per-kelompok) namun perlu prosedur operasional tertentu.

Solusi ini memiliki hubungan sangat kuat dengan Sesuai Standar dan Regulasi, karena implementasi RFID dan penyimpanan data transaksi harus memperhatikan standar komunikasi radio dan kebijakan perlindungan data. Secara keseluruhan, kombinasi kemampuan deteksi otomatis, dukungan data untuk FIFO, dan kapabilitas notifikasi membuat RFID+FIFO unggul untuk masalah ketersediaan stok di toko kelontong

Solusi 2, Smart Shelf menunjukkan hubungan sangat kuat dengan Sensing Capability, karena kamera adalah sensor utama yang memberikan informasi visual tentang keberadaan dan jumlah produk di rak. Pendekatan visual memungkinkan pengenalan produk dan kondisi rak (mis. rak kosong, tumpukan bergeser) sehingga menghasilkan informasi kontekstual lebih kaya dibanding sensor sederhana.

Hubungan lemah terdapat pada Computer Performance, diakibatkan pengembangan solusi ini sangat memerlukan performa komputasi yang sangat besar dibandingkan kedua solusi sebelumnya sehingga akan mempengaruhi kecepatan komputasi. Solusi ini berhubungan erat dengan Data Management, sebab pemrosesan citra (object detection, counting) memerlukan kapasitas komputasi lebih tinggi dan manajemen data yang menangani gambar, metadata deteksi, serta log historis. Kinerja komputasi yang baik diperlukan agar deteksi berlangsung mendekati waktu-nyata tanpa latensi berarti.

Solusi ini memiliki hubungan sangat kuat dengan Monitoring Capability dan Adaptive, karena visual monitoring menyediakan dashboard yang informatif dan model computer vision dapat dilatih ulang sehingga adaptif terhadap variasi produk. Namun, hubungan dengan Notification dan Warning Capability bersifat sedang, dimana kamera dapat menginisiasi notifikasi/peringatan, tetapi pipeline pemicu peringatan memerlukan pemrosesan tambahan dan pengaturan threshold.

Pada aspek Low Power Consumption, Smart Shelf memiliki hubungan lemah, karena kamera dan proses inferensi (terutama jika dilakukan di edge atau server lokal) cenderung membutuhkan daya dan sumber daya komputasi lebih besar. Dari sisi User Friendly hubungan sedang: meskipun output visual intuitif, pengoperasian dan pemeliharaan sistem (kalibrasi kamera, pelatihan model) memerlukan

keterampilan teknis sehingga perlu antarmuka yang disederhanakan untuk pengguna non-teknis.

Secara ringkas, Smart Shelf unggul pada penginderaan visual dan adaptabilitas namun terkendala oleh kebutuhan komputasi dan energi yang lebih tinggi sehingga nilainya lebih rendah daripada RFID+FIFO untuk konteks toko kelontong dengan keterbatasan infrastruktur

Namun, hubungannya terhadap Sensing Capability dan Monitoring Capability hanya sedang, karena jangkauan NFC sangat pendek (beberapa centimeter) sehingga NFC cocok untuk pencatatan saat terjadi interaksi (penerimaan/checkout) tetapi tidak ideal untuk pemantauan otomatis jarak jauh pada banyak rak secara terus-menerus. Hal ini menjadikan sistem cenderung semi-otomatis: diperlukan prosedur operasional (mis. scanning tiap batch) agar data akurat.

Hubungan dengan Computer Performance, Data Management, Notification, dan Sesuai Standar bersifat sedang; sistem NFC memerlukan backend untuk mengelola data dan mengirim notifikasi, tetapi beban komputasinya lebih rendah dibanding sistem vision. Untuk Warning Capability relasinya relatif lemah, karena NFC tidak secara otomatis mendeteksi perubahan stok di rak tanpa tindakan scan, peringatan timbul hanya bila ada pembacaan yang menandakan stock change.

Solusi NFC menunjukkan hubungan yang sedang pada aspek Low Power Consumption dan User Friendly. NFC tag pasif memerlukan daya minimal (didukung oleh medan reader) dan interaksi “tap” pada smartphone membuat proses pencatatan penerimaan/penjualan terasa sederhana bagi pengguna tanpa kebutuhan instalasi sensor rumit. Oleh karena itu, solusi ini sesuai bagi toko dengan keterbatasan anggaran dan staf non-teknis.

Secara keseluruhan, NFC+FIFO unggul pada kemudahan penggunaan dan efisiensi daya tetapi kurang cocok untuk kebutuhan pemantauan stok otomatis skala rak/toko tanpa prosedur operasional tambahan; ini tercermin pada skor HoQ yang lebih rendah dibandingkan RFID dan Smart Shelf

Berdasarkan analisis serta penjabaran yang dilakukan pada subsistem 3 ini, didapatkan perolehan solusi 1 dengan rating 4,61, solusi 2 dengan rating 3,61 dan solusi 3 dengan rating 3,05

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan House Of Quality (HOQ) dengan menganalisa seluruh hubungan seluruh usulan solusi terhadap fitur dasar dan *Constraint* pada masing masing subsistem. Untuk Subsistem 1, Solusi 1 yaitu Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition* (HAR) Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dimana menunjukkan hasil tertinggi dengan nilai 4,44 sehingga dinilai paling memenuhi seluruh kriteria kebutuhan subsistem.

Untuk subsistem 2, Solusi 1 yaitu Sistem Inventaris dan Pemantauan Kedaluwarsa Menggunakan Barcode dan Optical Character Recognition (OCR) yang menunjukkan hasil tertinggi dengan nilai 4,58 sehingga dinilai mampu memenuhi kriteria kebutuhan subsistem.

Untuk subsistem 3, Berdasarkan dari analisis dengan metode House of Quality (HOQ), diperoleh bahwa Solusi 1, yaitu Sistem Pengelolaan Ketersediaan Stok Menggunakan RFID dengan Metode FIFO, merupakan solusi terbaik dengan nilai tertinggi 4,26. Solusi ini mampu menyediakan deteksi stok otomatis yang akurat, pemantauan, serta pengelolaan data persediaan yang terstruktur. Penerapan metode FIFO juga membantu memastikan perputaran barang yang efisien dan mencegah kelebihan maupun kekurangan stok. Dengan tingkat adaptivitas yang baik dan kesesuaian terhadap standar serta regulasi, solusi ini dinilai paling efektif untuk diterapkan pada manajemen stok barang di toko kelontong

BAB II

SPESIFIKASI

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Spesifikasi Produk Subsistem 1

Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan menggunakan pendekatan House of Quality (HOQ), ditetapkan Solusi 1, yaitu Sistem Pengawasan Rak berbasis Human Activity Recognition (HAR) yang memanfaatkan MediaPipe dan dikombinasikan dengan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) sebagai solusi utama untuk Subsistem 1 yang berfokus pada permasalahan kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Pemilihan solusi ini didasarkan pada capaian nilai tertinggi dalam pemenuhan kebutuhan sistem, serta kemampuannya yang paling menyeluruh dalam mendeteksi, menganalisis, dan memberikan respons terhadap permasalahan kehilangan maupun kesalahan penempatan produk secara kontekstual.

Sistem ini dirancang untuk melaksanakan pengawasan rak secara berkelanjutan dengan memanfaatkan kamera statis yang dipasang pada titik-titik strategis sehingga mampu menjangkau seluruh area rak secara optimal. Kamera berperan sebagai perangkat input utama yang merekam aktivitas manusia di sekitar rak, khususnya interaksi antara tangan pengguna, baik pelanggan maupun staf, dengan produk yang ada. Data visual yang diperoleh selanjutnya diproses menggunakan pendekatan Human Activity Recognition untuk mengidentifikasi pola aktivitas seperti pengambilan produk, pengembalian produk, pemindahan produk ke rak lain, maupun aktivitas tidak normal lainnya.



Gambar 2.1 Landmark untuk Framework Mediapipe

Pada tahap pra-pemrosesan, sistem memanfaatkan MediaPipe sebagai kerangka kerja pose estimation untuk mengekstraksi fitur kerangka tangan dan tubuh manusia secara real-time. MediaPipe menghasilkan representasi koordinat landmark yang bersifat ringan dan stabil terhadap gangguan latar belakang, sehingga proses pengenalan aktivitas tidak bergantung pada detail visual kemasan produk. Selanjutnya, fitur-fitur tersebut diklasifikasikan menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) yang telah dilatih untuk membedakan berbagai jenis aktivitas interaksi dengan rak. Melalui pendekatan ini, sistem tidak hanya mampu mendeteksi perubahan kondisi rak, tetapi juga memahami proses serta penyebab terjadinya perubahan tersebut.

Kemampuan tersebut menjadikan sistem efektif dalam mengidentifikasi kehilangan produk, karena pengurangan jumlah barang yang tidak disertai pola aktivitas normal, seperti transaksi penjualan atau pengembalian produk, dapat dikenali sebagai suatu anomali. Selain itu, sistem juga mampu menangani permasalahan tertukarnya letak produk dengan mendeteksi aktivitas pemindahan barang ke lokasi rak yang tidak sesuai. Aktivitas semacam ini akan diklasifikasikan sebagai perilaku yang menyimpang dari pola operasional normal dan dicatat sebagai kejadian anomali.

Untuk mendukung respons operasional yang cepat dan tepat, sistem dilengkapi dengan mekanisme peringatan serta notifikasi otomatis. Ketika aktivitas tidak normal terdeteksi, sistem akan menghasilkan peringatan dalam waktu yang hampir real-time dan menyampaikannya melalui antarmuka dashboard atau media notifikasi digital kepada petugas toko. Dengan mekanisme ini, potensi kehilangan atau kesalahan penempatan produk dapat segera ditindaklanjuti sebelum menimbulkan dampak yang lebih besar terhadap akurasi data stok.

Seluruh aktivitas yang berhasil dideteksi oleh sistem dicatat dalam bentuk log data terstruktur yang mencakup informasi waktu kejadian, jenis aktivitas, hasil klasifikasi, serta metadata pendukung lainnya. Data tersebut disimpan secara aman dalam basis data dan dapat dimanfaatkan untuk keperluan audit, evaluasi kinerja operasional, maupun analisis pola kejadian kehilangan pada tahap selanjutnya.

Pendekatan ini memastikan bahwa sistem tidak hanya bersifat reaktif, tetapi juga mampu mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Dari aspek operasional, sistem dirancang agar dapat beroperasi secara terus-menerus selama jam operasional toko dengan tingkat konsumsi daya yang efisien. Kamera dan unit pemrosesan dipilih serta dikonfigurasi sedemikian rupa agar mampu bekerja secara stabil dalam jangka waktu panjang tanpa memerlukan intervensi manual yang intensif. Dengan konfigurasi tersebut, sistem dapat menyediakan pengawasan berkelanjutan tanpa memberikan beban yang signifikan terhadap infrastruktur toko.

Adapun spesifikasi utama yang dibutuhkan dari sistem ini berkaitan dengan input citra, pengolahan data dengan model *artificial intelegent*, output berupa peringatan dan notifikasi, serta penyimpanan data keamanan. Spesifikasi yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk Subsistem 1

Spesifikasi		
No.	Parameter	Spesifikasi Teknis
1.	Deteksi Posisi dan pergerakan	Sistem harus memantau posisi setiap produk dan pergerakan manusia secara kontinu dengan jarak 2-3 meter untuk mencegah kesalahan penempatan atau kehilangan barang.
2.	Identifikasi Objek	Sistem harus mampu mengenali aktivitas abnormal yang berkaitan potensi kehilangan dan kesalahan penempatan dengan tingkat akurasi minimal $\geq 80\%$
3.	<i>Warning Alert</i> dan Notifikasi <i>real-time</i>	Sistem harus memberikan <i>warning alert</i> dan notifikasi otomatis dengan waktu tunda

		kurang dari 3 detik apabila terjadi anomali stok atau potensi kehilangan.
4.	Data Logging	Sistem harus menyimpan semua data aktivitas, identitas produk, dan peringatan dalam bentuk log yang terintegrasi sehingga dapat dijadikan bukti konkrit minimal 50 entri log aktivitas beserta gambar hasil deteksi per hari tanpa menurunkan performa sistem.
5.	Kapasitas Suplai Daya	Sistem harus dirancang agar dapat beroperasi secara kontinu selama 10-12 jam per hari dengan konsumsi daya yang efisien dan handal.

2.1.1.1 Sistem harus memantau posisi setiap produk dan pergerakan manusia secara kontinu dengan jarak 2-3 meter

Jarak pemantauan menjadi salah satu parameter yang sangat penting dalam perancangan sistem pengawasan rak berbasis pengolahan citra, karena berpengaruh langsung terhadap luas area yang dapat diawasi serta tingkat ketelitian sistem dalam mengenali pergerakan manusia dan perubahan posisi produk. Pada subsistem kehilangan dan kesalahan penempatan produk ini, sistem dirancang untuk melakukan pemantauan posisi produk dan aktivitas manusia secara kontinu dalam rentang jarak 2–3 meter dari area rak. Pemilihan jarak tersebut disesuaikan dengan karakteristik lorong dan rak pada toko kelontong modern, di mana interaksi antara pelanggan dan produk umumnya berlangsung pada jarak yang relatif dekat dan terfokus[91].

Dalam sistem ini, kamera berperan sebagai sensor utama yang secara terus-menerus merekam citra area rak. Data visual yang diperoleh selanjutnya diproses menggunakan pendekatan Human Activity Recognition (HAR) berbasis MediaPipe untuk mengekstraksi informasi kerangka tubuh melalui proses pose estimation, khususnya pergerakan tangan dan lengan yang berinteraksi secara langsung dengan

produk. Informasi tersebut kemudian dianalisis menggunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan pola aktivitas, seperti mengambil produk, memindahkan produk, maupun perilaku lain yang berpotensi mengindikasikan terjadinya kehilangan atau kesalahan penempatan[92]. Pemantauan pada rentang jarak 2–3 meter memungkinkan sistem mencapai keseimbangan antara cakupan area pengawasan dan tingkat ketelitian deteksi. Pada jarak ini, detail pergerakan tangan serta posisi tubuh manusia masih dapat ditangkap secara jelas oleh kamera tanpa memerlukan resolusi yang sangat tinggi atau penggunaan perangkat optik tambahan. Selain itu, pembatasan jarak pemantauan ini turut membantu meminimalkan gangguan dari aktivitas di luar area rak, sehingga proses analisis dapat lebih terfokus pada interaksi yang relevan dengan produk[93].

Secara konseptual, sistem bekerja dengan memodelkan area rak sebagai ruang pengawasan aktif, di mana setiap interaksi manusia maupun perubahan posisi produk diperlakukan sebagai suatu peristiwa atau *event*. Setiap peristiwa tersebut dianalisis secara temporal untuk menentukan apakah aktivitas yang terdeteksi termasuk dalam kategori normal atau justru tergolong abnormal. Melalui pendekatan ini, sistem tidak hanya memantau keberadaan produk secara statis, tetapi juga mampu memahami konteks pergerakan manusia yang menyebabkan terjadinya perubahan tersebut.

Dengan kemampuan pemantauan berkelanjutan pada jarak 2–3 meter, subsistem ini diharapkan dapat mendeteksi potensi kehilangan maupun kesalahan penempatan produk secara lebih akurat dan mendekati real-time, sekaligus mengurangi ketergantungan pada proses pemeriksaan manual yang rentan terhadap kelalaian. Pendekatan berbasis pengolahan citra dan Human Activity Recognition ini menjadikan sistem lebih kontekstual, adaptif, serta selaras dengan dinamika operasional toko kelontong modern.

Tabel 2.2 Perbandingan Spesifikasi Kamera

Parameter	Camera Module 5MP OV5647[94]	Xiaovv Webcam Full HD 1080p[95]	Raspberry Pi NoIR Camera Module V2 (8 MP)[96]
-----------	---------------------------------	---------------------------------------	--

Jenis Kamera	Kamera CSI (Camera Serial Interface) untuk Raspberry Pi dengan sensor CMOS 5 MP	Kamera USB eksternal	Kamera CSI (Camera Serial Interface) tanpa filter inframerah (NoIR)
Resolusi	2592 × 1944 piksel (5 megapiksel)	1920 × 1080 (Full HD)	3280 × 2464 (8 MP)
Frame Rate (FPS)	30 FPS	30 FPS	30 FPS
Angle	65°-75°	150°	62°
Konsumsi Daya	~1,25 W – 1,5 W	± 0,75 - 1,5 watt	±1.2 W
Kompatibilitas Sistem	Khusus untuk Raspberry Pi, terhubung melalui antarmuka CSI, tidak dapat digunakan langsung pada PC atau mikrokontroler tanpa adaptor tambahan	PC/Windows, macOS, Linux termasuk Raspberry Pi 5 (USB UVC plug-and-play)	Khusus untuk Raspberry Pi 3/4/5
Kualitas Gambar	Baik, mampu menghasilkan gambar yang tajam pada kondisi pencahayaan	memberi detail yang jelas untuk pemantauan area dan dapat menangkap area	Sangat baik, tajam, dan minim noise bahkan dalam kondisi gelap

	cukup.	lebih luas	
Harga	Rp.Rp135.000	Rp.165.000	Rp.450.000

Berdasarkan hasil perbandingan spesifikasi teknis kamera yang disajikan pada tabel pemilihan perangkat akuisisi citra, terdapat tiga kandidat utama yang dipertimbangkan dalam perancangan sistem, yaitu Camera Module 5MP OV5647, Xiaovv Webcam Full HD 1080p, dan Raspberry Pi NoIR Camera Module V2 (8 MP). Ketiga kamera tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan yang berbeda-beda, terutama dari aspek resolusi, sudut pandang (field of view), kompatibilitas sistem, serta kemampuan dalam mendukung kebutuhan subsistem kehilangan dan kesalahan peletakan barang pada toko kelontong.

Camera Module 5MP OV5647 merupakan kamera berbasis antarmuka CSI yang dirancang khusus untuk Raspberry Pi 5. Kamera ini memiliki resolusi hingga 5 megapiksel dan mampu menghasilkan citra yang cukup tajam pada kondisi pencahayaan yang memadai. Namun demikian, sudut pandang kamera ini relatif terbatas, yaitu sekitar 65° – 75° , sehingga cakupan area yang dapat dipantau menjadi sempit. Selain itu, performa kamera ini menurun pada kondisi cahaya rendah dan kurang optimal untuk sistem pemantauan yang membutuhkan pengawasan area luas secara kontinu[97].

Raspberry Pi NoIR Camera Module V2 (8 MP) menawarkan resolusi yang lebih tinggi serta kemampuan bekerja pada kondisi minim cahaya karena tidak menggunakan filter inframerah (NoIR). Kamera ini sangat sesuai untuk aplikasi visi komputer yang memerlukan detail citra tinggi, termasuk pada kondisi pencahayaan rendah. Meskipun demikian, sudut pandang kamera ini juga relatif sempit, yakni sekitar 62° , sehingga kurang ideal untuk pengawasan area toko yang luas tanpa penambahan jumlah kamera atau penggunaan lensa tambahan[98]. Selain itu, kamera ini hanya kompatibel dengan Raspberry Pi melalui antarmuka CSI, sehingga fleksibilitas integrasi perangkat menjadi terbatas.

Xiaovv Webcam Full HD 1080p merupakan kamera USB eksternal dengan resolusi 1920×1080 piksel dan sudut pandang yang sangat luas, yaitu sekitar 150° . Keunggulan utama kamera ini terletak pada kemampuannya untuk mencakup area

pengawasan yang lebih besar dalam satu sudut pengambilan gambar, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan pemantauan aktivitas dan pergerakan barang di area toko. Kamera ini juga bersifat plug-and-play melalui antarmuka USB dan kompatibel dengan berbagai sistem operasi, termasuk Windows, Linux, serta Raspberry Pi 5, sehingga memudahkan proses integrasi dan pengembangan sistem. Dari sisi konsumsi daya, kamera ini relatif efisien dan dapat dioperasikan secara stabil selama jam operasional tanpa memerlukan catu daya tambahan.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, Xiaovv Webcam Full HD 1080p dipilih sebagai perangkat akuisisi citra pada sistem yang dirancang, karena mampu memenuhi kebutuhan utama sistem, yaitu cakupan area pengawasan yang luas, kemudahan integrasi dengan Raspberry Pi 5, serta kualitas citra yang memadai untuk mendukung proses pemantauan dan pencegahan kesalahan peletakan maupun kehilangan barang di toko.



Gambar 2.2 Xiaovv Webcam Full HD 1080p

Xiaovv Webcam Full HD 1080p memiliki resolusi 1920×1080 piksel dengan laju pengambilan gambar hingga 30 FPS, yang dinilai telah memadai untuk menghasilkan citra dengan tingkat detail yang cukup guna mendukung proses pemantauan visual dan analisis aktivitas. Keunggulan utama kamera ini terletak pada sudut pandang yang sangat luas, yaitu sekitar 150° , sehingga mampu mencakup area pengawasan yang lebih besar dalam satu sudut pengambilan gambar. Karakteristik ini sangat relevan untuk meminimalkan kebutuhan

penggunaan banyak kamera serta meningkatkan efisiensi sistem pengawasan secara keseluruhan.

2.1.1.2 Sistem harus mampu mengenali aktivitas abnormal yang berkaitan potensi kehilangan dan kesalahan penempatan dengan tingkat akurasi minimal $\geq 80\%$

Kemampuan sistem dalam mengidentifikasi aktivitas yang bersifat abnormal merupakan komponen fundamental dalam subsistem pengawasan kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Aktivitas abnormal pada konteks ini didefinisikan sebagai pola pergerakan manusia serta bentuk interaksi dengan produk yang menyimpang dari perilaku operasional yang dianggap normal, seperti mengambil produk tanpa melalui proses transaksi, memindahkan produk ke lokasi rak yang tidak sesuai, maupun melakukan interaksi berulang dengan produk yang tidak diikuti oleh proses penjualan atau pengembalian barang[99].

Pada sistem yang diusulkan, proses pengenalan aktivitas abnormal dilakukan dengan menggunakan pendekatan Human Activity Recognition (HAR) berbasis analisis visual. Sistem memanfaatkan data citra video untuk memodelkan pola gerakan tubuh manusia, dengan fokus utama pada pergerakan tangan serta posisi tubuh manusia relatif terhadap rak produk. Informasi visual tersebut kemudian diproses untuk membedakan aktivitas yang tergolong normal, seperti pengambilan produk untuk dibeli oleh pelanggan atau aktivitas pengisian ulang stok oleh staf, dengan aktivitas yang berpotensi mengindikasikan terjadinya kehilangan produk atau kesalahan penempatan.

Tingkat akurasi minimum sebesar $\geq 80\%$ ditetapkan sebagai ambang batas kinerja sistem yang dinilai dapat diterima secara operasional. Penetapan nilai ini dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan toko kelontong yang bersifat dinamis, termasuk kepadatan susunan rak, variasi kondisi pencahayaan, serta keragaman perilaku pelanggan. Tingkat akurasi tersebut mencerminkan kemampuan sistem dalam melakukan klasifikasi aktivitas dengan tingkat kesalahan yang masih dapat ditoleransi, sehingga tidak menimbulkan jumlah peringatan palsu (false alarm) yang berlebihan dan berpotensi mengganggu kelancaran operasional toko[100].

Tabel 2.3 Perbandingan Spesifikasi Processor

Parameter	Raspberry Pi 5 [101]	NVIDIA Jetson Nano [102]	Arduino Portenta H7[103]
CPU	Quad-core ARM Cortex- A76 @ 2.4 GHz	Quad-core ARM Cortex- A57 @ 1.43 GHz	Dual-core ARM Cortex-M7 (480 MHz) + M4 (240 MHz)
GPU / AI	VideoCore VII – tidak ada akselerator AI khusus	128-core Maxwell GPU dengan dukungan AI	Tidak ada GPU / AI akselerator; dukungan ML sederhana lewat TinyML
RAM	4/8 GB LPDDR4X	4 GB LPDDR4	8 MB SRAM / 16 MB NOR flash (berbeda arsitektur, kecil)
Camera / I/O	2× MIPI CSI-2, USB	MIPI CSI-2, USB	I/O digital/analog, SPI/I2C/UART (tidak native untuk kamera resolusi tinggi)
Konsumsi Daya	±5–10 W	±5–10 W (tergantung beban AI)	±0.1–1 W
AI/ML Support	Bisa pakai TFLite, PyTorch	JetPack + TensorRT + cuDNN	Cocok untuk TinyML / sensor inference ringan

	(dengan akselerator eksternal)		
Harga (perkiraan Indonesia)	± Rp1.990.000	± Rp3.704.500	±Rp1.000.000–1.500.000
Wireless/Connectivity	Wi-Fi 6, Bluetooth onboard	USB Wi-Fi perlu tambahan	Wi-Fi/BT via tambahan module

Berdasarkan hasil perbandingan spesifikasi teknis yang disajikan pada tabel perbandingan perangkat komputasi, terdapat tiga kandidat utama yang dipertimbangkan sebagai unit pemrosesan dalam sistem, yaitu Raspberry Pi 5, NVIDIA Jetson Nano, dan Arduino Portenta H7. Ketiga perangkat tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dan tujuan perancangan sistem yang diusulkan.

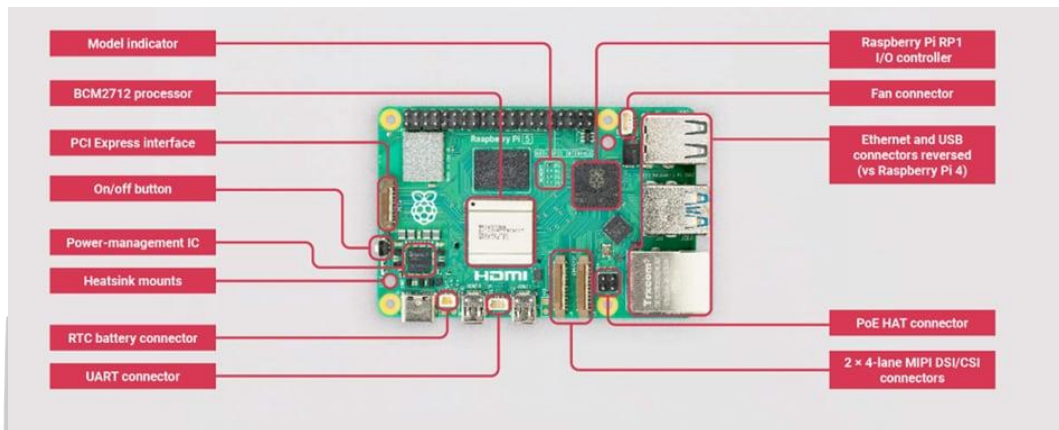
NVIDIA Jetson Nano dirancang secara khusus untuk mendukung aplikasi edge artificial intelligence dengan keberadaan GPU terintegrasi serta ekosistem perangkat lunak berbasis CUDA, cuDNN, dan TensorRT[104]. Keunggulan utama Jetson Nano terletak pada kemampuannya menjalankan model deep learning secara real-time dengan performa inferensi yang tinggi, terutama untuk aplikasi object detection dan computer vision. Namun demikian, Jetson Nano memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain fleksibilitas sistem operasi yang lebih terbatas, konsumsi daya yang relatif tinggi ketika menjalankan model AI, serta harga yang lebih mahal dibandingkan dengan alternatif lainnya. Selain itu, kompleksitas proses konfigurasi serta ketergantungan pada ekosistem NVIDIA menjadikan perangkat ini kurang ideal untuk pengembangan sistem yang menuntut kemudahan integrasi, proses pengujian yang sederhana, serta pemeliharaan jangka panjang[105].

Arduino Portenta H7 merupakan mikrokontroler kelas industri yang dikembangkan untuk kebutuhan embedded system dan pengendalian real-time. Perangkat ini

memiliki keunggulan pada konsumsi daya yang sangat rendah, stabilitas sistem yang tinggi, serta dukungan antarmuka perangkat keras yang luas untuk sensor dan aktuator[106]. Meskipun demikian, Portenta H7 tidak dibekali dengan kemampuan komputasi yang memadai untuk menjalankan algoritma computer vision berbasis citra, seperti Human Activity Recognition atau Optical Character Recognition, yang memerlukan pemrosesan data visual beresolusi tinggi[107]. Oleh sebab itu, perangkat ini lebih tepat digunakan sebagai unit pendukung untuk akuisisi data sensor, pengendalian perangkat, atau implementasi logika sederhana, dan bukan sebagai pemroses utama pada sistem berbasis visi.

Raspberry Pi 5 menawarkan keseimbangan yang baik antara kemampuan pemrosesan, fleksibilitas sistem, dan efisiensi biaya. Dengan prosesor quad-core ARM Cortex-A76 yang beroperasi hingga kecepatan 2,4 GHz serta dukungan memori hingga 8 GB LPDDR4X, Raspberry Pi 5 mampu menjalankan proses computer vision dan image processing secara stabil, termasuk algoritma Human Activity Recognition dan Optical Character Recognition berbasis Convolutional Neural Network (CNN)[108]. Dukungan antarmuka kamera MIPI CSI ganda memungkinkan integrasi kamera beresolusi tinggi secara langsung, sementara ekosistem perangkat lunak berbasis Linux memberikan kemudahan dalam proses pengembangan, pengujian, dan integrasi sistem secara menyeluruh.

Selain itu, Raspberry Pi 5 memiliki konsumsi daya yang relatif moderat dan dapat dioperasikan secara kontinu selama jam operasional toko tanpa memerlukan sistem pendinginan maupun catu daya khusus. Dukungan konektivitas jaringan serta kompatibilitas dengan berbagai pustaka computer vision dan machine learning menjadikan Raspberry Pi 5 fleksibel dan cocok untuk pengembangan sistem pengawasan yang terintegrasi[109].



Gambar 2.3 Raspberry Pi 5

Berdasarkan hasil kajian teknis yang dilakukan serta penyesuaian terhadap kebutuhan fungsional sistem, Raspberry Pi 5 ditetapkan sebagai unit pemrosesan utama dalam perancangan sistem yang diusulkan. Penetapan ini didasarkan pada kemampuannya dalam mendukung pemrosesan citra dan analisis aktivitas manusia secara andal, tingkat kemudahan integrasi antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak, serta efisiensi biaya yang sejalan dengan batasan anggaran implementasi yang telah ditentukan.

Secara kinerja, Raspberry Pi 5 dinilai mampu menjalankan algoritma Human Activity Recognition dan Optical Character Recognition secara paralel dengan tingkat latensi yang masih berada dalam rentang toleransi sistem. Kemampuan tersebut dapat dicapai tanpa memerlukan akselerator kecerdasan buatan tambahan, sehingga kompleksitas arsitektur sistem dapat ditekan. Selain itu, fleksibilitas platform ini memberikan dukungan terhadap pengembangan sistem yang adaptif, mudah dikembangkan pada tahap lanjutan, serta relevan untuk diterapkan pada lingkungan operasional toko kelontong modern yang dinamis.

Sebagai pembanding, NVIDIA Jetson Nano dinilai lebih tepat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan inferensi kecerdasan buatan dengan performa sangat tinggi dan tuntutan real-time yang ketat. Namun demikian, perangkat tersebut kurang optimal apabila ditinjau dari aspek efisiensi biaya serta kompleksitas konfigurasi sistem yang dihasilkan. Sementara itu, Arduino Portenta H7 lebih sesuai dimanfaatkan sebagai perangkat pendukung untuk fungsi pengendalian dan akuisisi data sensor, tetapi tidak memiliki kapabilitas komputasi yang memadai

untuk memenuhi kebutuhan utama sistem dalam pemrosesan data visual berbasis citra.

Meskipun Raspberry Pi 5 telah memiliki kapabilitas pemrosesan yang cukup untuk menjalankan algoritma pengolahan citra dan kecerdasan buatan pada skala menengah, kebutuhan terhadap peningkatan performa inferensi tetap menjadi aspek yang perlu dipertimbangkan. Hal ini terutama relevan ketika sistem diharuskan melakukan pemrosesan data visual secara simultan dan mendekati real-time, yang berpotensi meningkatkan beban komputasi secara signifikan.



Gambar 2.4 AI KIT Hailo

Pada tahap pengembangan, sistem dirancang agar memiliki fleksibilitas untuk dikombinasikan dengan perangkat akselerator kecerdasan buatan (AI kit) sebagai unit pemrosesan tambahan. Pendekatan ini memungkinkan optimalisasi beban komputasi model AI dengan cara memindahkan sebagian proses inferensi ke akselerator khusus, tanpa menimbulkan peningkatan konsumsi daya maupun kompleksitas arsitektur sistem secara signifikan. Dengan strategi ini, kinerja sistem diharapkan dapat ditingkatkan secara bertahap seiring dengan bertambahnya kebutuhan pemrosesan, tanpa harus melakukan perubahan mendasar pada desain sistem utama.

Kemampuan perangkat keras yang tinggi perlu diimbangi dengan pemilihan metode atau algoritma komputasi yang tepat agar potensi akselerator kecerdasan buatan dapat dimanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu penting untuk menentukan algoritma pengenalan aktivitas dan deteksi objek yang sesuai dengan karakteristik subsistem kehilangan dan kesalahan penempatan produk, serta mampu memenuhi persyaratan akurasi minimum yang telah ditetapkan[110].

Pemilihan algoritma pada tahap ini memiliki peranan yang sangat penting karena secara langsung berpengaruh terhadap tingkat akurasi deteksi, latensi sistem, serta efisiensi pemanfaatan sumber daya komputasi pada perangkat edge. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, dilakukan analisis terhadap sejumlah algoritma visi komputer yang umum diterapkan pada sistem pengawasan berbasis kamera, dengan tujuan untuk menentukan metode yang paling sesuai dan efektif bagi kebutuhan sistem yang diusulkan[111].

Tabel 2.4 Perbandingan Metode Komputasi

Parameter	YOLOv8 [112][113]	SSD (<i>Single Shot Detector</i>)[114]	Faster R-CNN [115]
Kategori Model	One-stage object detection	One-stage object detection	Two-stage object detection
Arsitektur Dasar	CNN + CSP + PAN + decoupled head	CNN + feature maps multi-scale	CNN + Region Proposal Network
Kemampuan Deteksi Real-Time	Sangat tinggi	Tinggi	Rendah
Kecepatan (FPS, edge device)	20–40 FPS (dengan akselerator AI)	15–25 FPS	<5 FPS
Akurasi mAP@0.5 (COCO)	50–53% (YOLOv8n-s)	41–46%	55–60%
Akurasi Aktivitas Manusia (indoor)	≥85% (custom dataset)	75–80%	≥90%
Kemampuan Multi-Object Detection	Sangat baik	Baik	Sangat baik

Deteksi Objek Kecil	Baik (dengan fine-tuning)	Cukup	Sangat baik
Kompleksitas Komputasi	Sedang	Rendah–sedang	Sangat tinggi
Kebutuhan Hardware	Cocok untuk edge AI	Cocok untuk edge	Tidak cocok untuk edge
Konsumsi Daya	Rendah–sedang	Rendah	Tinggi
Kemudahan Deployment	Sangat mudah	Mudah	Sulit
Dukungan Framework	PyTorch, ONNX, TensorRT, Hailo	TensorFlow, PyTorch	PyTorch

Untuk memenuhi kebutuhan sistem dalam mengenali aktivitas abnormal yang berkaitan dengan potensi kehilangan serta kesalahan penempatan produk dengan tingkat akurasi minimal $\geq 80\%$, diperlukan pendekatan komputasi visual yang mampu melakukan deteksi objek dan analisis aktivitas secara andal pada lingkungan ritel yang bersifat dinamis. Dalam konteks subsistem ini, terdapat tiga pendekatan algoritmik yang relevan untuk dipertimbangkan, yaitu YOLOv8, Faster R-CNN, dan SSD (*Single Shot Detector*).

Faster R-CNN merupakan algoritma deteksi objek berbasis dua tahap (two-stage detector) yang dikenal memiliki tingkat akurasi tinggi, terutama dalam mendeteksi objek berukuran kecil dan memiliki kompleksitas visual yang tinggi. Algoritma ini bekerja dengan menghasilkan region proposal melalui Region Proposal Network (RPN), yang selanjutnya diikuti oleh proses klasifikasi dan regresi bounding box pada tahap berikutnya[116].

Dalam konteks pengawasan rak, Faster R-CNN secara konseptual mampu mendeteksi objek seperti tangan, produk, serta interaksi manusia dengan tingkat presisi yang baik. Namun, kompleksitas arsitektur serta beban komputasi yang

besar menjadikan algoritma ini kurang sesuai untuk implementasi real-time pada perangkat edge seperti Raspberry Pi 5. Waktu inferensi yang relatif tinggi serta kebutuhan sumber daya yang besar berpotensi meningkatkan latensi sistem, sehingga menyulitkan pemenuhan kebutuhan respons cepat dan operasi kontinu dengan konsumsi daya terbatas.

Selanjutnya yaitu, SSD merupakan algoritma deteksi objek berbasis satu tahap (single-stage detector) yang dirancang untuk meningkatkan kecepatan inferensi dengan mengurangi kompleksitas pemrosesan. Deteksi objek dilakukan secara langsung dalam satu tahap tanpa melalui proses proposal wilayah, sehingga SSD memiliki latensi yang lebih rendah dibandingkan Faster R-CNN[117].

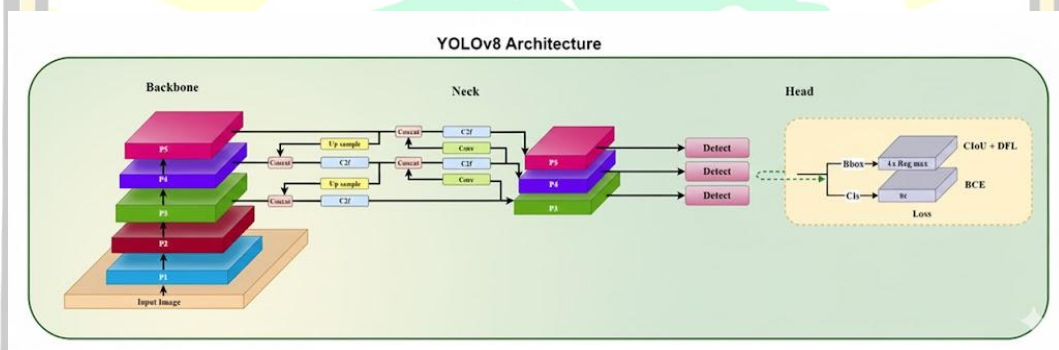
Dalam sistem pengawasan rak, SSD dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi keberadaan manusia dan produk secara umum dengan respons yang cepat. Namun, algoritma ini memiliki keterbatasan dalam mendeteksi objek berukuran kecil serta interaksi mikro, seperti pergerakan tangan atau perubahan posisi produk yang bersifat halus. Pada skenario rak dengan kepadatan tinggi dan kondisi pencahayaan yang tidak merata, tingkat akurasi SSD cenderung menurun, sehingga berisiko menghasilkan false negative dalam deteksi aktivitas abnormal. Kondisi ini menjadi kendala signifikan ketika sistem dituntut untuk mempertahankan akurasi minimal $\geq 80\%$ secara konsisten.

Terakhir, YOLOv8 merupakan generasi terbaru dari keluarga YOLO yang mengadopsi arsitektur single-stage detector berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dengan berbagai optimasi pada aspek efisiensi dan ketelitian. Algoritma ini mengimplementasikan pendekatan anchor-free detection serta perbaikan pada struktur backbone dan head network, sehingga mampu mencapai keseimbangan yang baik antara kecepatan inferensi dan akurasi deteksi[118].

Dalam konteks pengawasan rak toko kelontong, YOLOv8 dinilai sangat sesuai karena mampu melakukan deteksi objek dan aktivitas secara real-time, termasuk manusia, tangan, serta pergerakan produk, dengan tingkat akurasi yang secara empiris berada di atas 85% pada berbagai skenario ritel dan pengawasan visual. Selain itu, YOLOv8 mendukung proses pelatihan ulang (fine-tuning) menggunakan

dataset spesifik lingkungan toko, sehingga meningkatkan sensitivitas sistem terhadap pola aktivitas abnormal, seperti pengambilan produk tanpa pengembalian atau penempatan barang pada lokasi yang tidak semestinya.

Keunggulan tambahan dari YOLOv8 adalah kompatibilitasnya dengan komputasi edge dan akselerator kecerdasan buatan, seperti integrasi Raspberry Pi 5 dengan modul AI HAT berbasis Hailo-8L. Kombinasi ini memungkinkan sistem melakukan inferensi dengan latensi rendah, konsumsi daya yang efisien, serta stabilitas operasi jangka panjang tanpa ketergantungan penuh pada infrastruktur komputasi berbasis cloud[119].



Gambar 2.5 Arsitektur YOLOv8

Berdasarkan hasil perbandingan terhadap ketiga algoritma yang dipertimbangkan, YOLOv8 dipilih sebagai algoritma utama pada subsistem deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Pemilihan ini didasarkan pada kemampuannya dalam memberikan keseimbangan yang paling optimal antara tingkat akurasi, kecepatan inferensi, serta efisiensi penggunaan sumber daya komputasi. Algoritma Faster R-CNN memang memiliki keunggulan dari sisi akurasi deteksi, namun kompleksitas arsitektur dan kebutuhan komputasi yang tinggi menjadikannya kurang realistis untuk diimplementasikan pada sistem edge dengan keterbatasan daya dan tuntutan waktu respons yang cepat. Di sisi lain, SSD (Single Shot Detector) menawarkan kecepatan inferensi yang baik, tetapi memiliki keterbatasan dalam mendeteksi aktivitas abnormal yang bersifat detail dan kontekstual, khususnya pada lingkungan rak dengan kepadatan tinggi.

YOLOv8 dinilai mampu memenuhi kebutuhan sistem secara menyeluruh, yaitu mendukung deteksi aktivitas abnormal dengan tingkat akurasi minimal $\geq 80\%$,

beroperasi secara real-time, serta kompatibel dengan arsitektur edge computing yang digunakan. Selain itu, karakteristik YOLOv8 yang ringan dan fleksibel mudah untuk diintegrasikan antara kecerdasan buatan, sistem tertanam, dan penyelesaian permasalahan nyata pada lingkungan operasional toko kelontong modern.

2.1.1.3 Sistem harus memberikan warning dan notifikasi otomatis dengan waktu tunda kurang dari 3 detik

Selain kemampuan dalam mengidentifikasi aktivitas yang bersifat abnormal, kecepatan respons sistem dalam memberikan notifikasi atau peringatan otomatis merupakan aspek kritis dalam subsistem pengawasan kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Waktu tunda antara terjadinya aktivitas abnormal dan penyampaian notifikasi kepada pengguna sistem harus berada dalam batas yang dapat diterima secara operasional agar tindakan pencegahan dapat dilakukan secara tepat waktu[120].

Dalam sistem yang dirancang, batas waktu respons notifikasi ditentukan kurang dari 3 detik sejak aktivitas abnormal berhasil diidentifikasi oleh modul Human Activity Recognition. Penetapan ambang waktu ini didasarkan pada kebutuhan akan respons yang cepat dalam lingkungan operasional toko kelontong, di mana keterlambatan penyampaian peringatan dapat meningkatkan potensi terjadinya kehilangan produk maupun memperbesar kemungkinan kesalahan penempatan barang yang tidak segera terdeteksi.

Untuk memenuhi spesifikasi tersebut, sistem dirancang agar proses pengolahan data visual dilakukan secara berkelanjutan dan efisien. Kamera merekam citra area rak secara real-time, kemudian data visual tersebut diproses melalui tahapan Human Activity Recognition (HAR) berbasis MediaPipe untuk mengekstraksi informasi pose tubuh, khususnya pergerakan tangan dan lengan. Informasi ini selanjutnya dianalisis menggunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan aktivitas yang terdeteksi sebagai aktivitas normal atau abnormal. Seluruh rangkaian proses tersebut dioptimalkan agar dapat dieksekusi dalam waktu singkat tanpa mengorbankan akurasi sistem. Pembatasan waktu tunda notifikasi hingga kurang dari 3 detik memungkinkan sistem bekerja secara mendekati real-time, sehingga peringatan yang dihasilkan masih relevan dengan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 2.5 Perbandingan Spesifikasi Warning Alert

Parameter	Sirine Mini Alarm 220V[121]	LED Strobo LTE1101 [122]	Buzzer Piezo 12V[123]
Jenis Peringatan	Audio (suara sirine keras)	Visual (lampu berkedip terang)	Audio (bunyi “beep”)
Tegangan Operasi	220V AC	12V / 24V DC atau 220V AC	12V DC
Konsumsi Daya	±20–25 W	±3 W (DC) – 6 W (AC)	±0.2 W
Intensitas Cahaya / Suara	105–120 dB	85–100 cd (lampu LED terang)	90–95 dB
Tipe Output	Suara sirine melengking	Cahaya strobo berputar	Suara beep kontinu
Visibilitas / Jangkauan	50–100 m tergantung lingkungan	20–50 m tergantung kondisi cahaya	±10 m
Tingkat Gangguan Lingkungan	Tinggi (bising kuat)	Rendah (tidak berisik)	Sedang (bising lokal)
Kompatibilitas dengan Sistem	Perlu relay AC khusus	Mudah dikendalikan via relay dari Raspberry Pi	Mudah dikendalikan via GPIO

Ketahanan & Umur Pakai	10.000 jam	>30.000 jam (LED)	5.000–8.000 jam
-----------------------------------	------------	-------------------	-----------------

Berdasarkan hasil perbandingan spesifikasi teknis yang disajikan pada tabel perbandingan perangkat peringatan, terdapat tiga kandidat utama yang dipertimbangkan sebagai *warning alert* dalam sistem pengawasan yang diusulkan, yaitu Sirine Mini Alarm, LED Strobo LTE1101, dan Buzzer Piezo. Ketiga perangkat tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan yang berbeda-beda, terutama jika ditinjau dari jenis output peringatan, konsumsi daya, tingkat gangguan lingkungan, serta kemudahan integrasi dengan sistem berbasis Raspberry Pi 5.

Sirine Mini Alarm memiliki jangkauan dan intensitas peringatan yang tinggi melalui kombinasi suara dan cahaya, sehingga efektif untuk kondisi darurat. Namun, tingkat kebisingan yang dihasilkan relatif besar dan berpotensi mengganggu kenyamanan pelanggan, sehingga kurang sesuai untuk lingkungan toko kelontong modern yang membutuhkan suasana operasional yang kondusif. Selain itu, penggunaan tegangan AC pada beberapa varian sirine menambah kompleksitas integrasi dari sisi kelistrikan dan aspek keselamatan sistem[124].

Buzzer piezo mampu menghasilkan peringatan audio dengan intensitas suara yang tinggi dan jangkauan luas, sehingga efektif dalam menarik perhatian secara cepat. Akan tetapi, karakteristik suara yang keras dan berulang berpotensi menimbulkan gangguan lingkungan serta meningkatkan risiko *false alarm fatigue* apabila sistem sering memicu peringatan. Kebutuhan akan tegangan tinggi dan penggunaan relay tambahan juga menjadikan perangkat ini kurang efisien untuk sistem tertanam berdaya rendah[125].

LED Strobo LTE1101 menawarkan peringatan visual yang efektif tanpa menimbulkan gangguan suara. Cahaya berkedip yang dihasilkan cukup mencolok untuk menarik perhatian staf toko, sementara konsumsi daya yang rendah, kemudahan pengendalian melalui GPIO Raspberry Pi, serta umur pakai yang panjang menjadikan perangkat ini lebih sesuai untuk sistem pengawasan berbasis pengolahan citra yang beroperasi secara kontinu[126].



Gambar 2.6 LED Strobe LTE1101

Berdasarkan pertimbangan tersebut, LED Strobe LTE1101 dipilih sebagai perangkat *warning alert* pada sistem yang diusulkan karena mampu memenuhi kebutuhan peringatan secara efektif, efisien, dan kontekstual, sekaligus mendukung tujuan utama sistem dalam mendeteksi serta merespons potensi kehilangan produk dan kesalahan penempatan barang secara cepat tanpa mengganggu lingkungan operasional toko. LED Strobe LTE-1101 memiliki konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga sesuai dengan desain sistem yang dirancang untuk bekerja secara berkelanjutan selama 10-12 jam per hari tanpa membebani suplai daya. Dari sisi keamanan, solusi berbasis cahaya lebih aman dibanding sirine konvensional.

Tabel 2.6 Perbandingan Spesifikasi Notifikasi

Parameter	Bot Telegram [127]	Flask + MQTT + Flutter [128][129]	Push Notification (Firebase Cloud Messaging) [130]
Media	Telegram chat (teks,	Dashboard mobile	Notifikasi

Notifikasi	gambar, file log .csv)	Flutter	sistem (Android/iOS)
Platform Dijalankan	Telegram Bot API (melalui Flask backend)	Flask server + MQTT Broker + Flutter App	Firestore Cloud Messaging (FCM)
Kebutuhan Internet	Stabil (Wi-Fi / 4G)	Stabil (Wi-Fi / 4G)	Stabil (Wi-Fi / 4G)
Jenis Notifikasi	Message-based notification	Aplikasi berbasis event	Push notification (OS-level)
Waktu Notifikasi	±1–3 detik	±1–2 detik	±1–2 detik
Integrasi dengan AI (YOLOv8)	Terintegrasi penuh (kirim gambar hasil deteksi ke chat)	Terintegrasi penuh	Terintegrasi penuh (notifikasi dipicu oleh event hasil deteksi YOLOv8 melalui backend)
Kelebihan Utama	Familiar bagi pengguna, mudah diakses, tidak memerlukan aplikasi tambahan	Mendukung pemantauan real- time melalui dashboard interaktif	Ringan, cepat, mendukung pengiriman notifikasi berbasis event serta metadata deteksi

Kelemahan utama	Bergantung pada layanan Telegram dan koneksi internet	Membutuhkan aplikasi Flutter tambahan dan proses pengembangan lebih kompleks	Bergantung pada koneksi internet stabil dan layanan Firebase
Biaya Implementasi	Rendah (API gratis, terbatas kebijakan platform)	Rendah–Sedang (server mandiri, tanpa biaya API eksternal, scalable)	Rendah (layanan gratis, bergantung pada Firebase)

Berdasarkan hasil perbandingan spesifikasi teknis yang disajikan pada tabel perbandingan sistem notifikasi, terdapat tiga pendekatan utama yang dipertimbangkan sebagai media penyampaian peringatan real-time dalam sistem pengawasan yang diusulkan, yaitu Bot Telegram, Flask + MQTT + Flutter, serta Push Notification berbasis Firebase Cloud Messaging (FCM). Ketiga pendekatan tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, dan keterbatasan yang berbeda-beda, khususnya jika ditinjau dari aspek media notifikasi, waktu respons, tingkat integrasi dengan sistem, serta biaya dan fleksibilitas implementasi sistem.

Bot Telegram menawarkan kemudahan penggunaan karena berbasis aplikasi pesan instan yang sudah familiar. Notifikasi dapat dikirim dalam bentuk teks, gambar, maupun file log secara langsung melalui chat, dengan waktu tunda yang relatif singkat. Integrasi dengan modul deteksi berbasis YOLOv8 dapat dilakukan secara penuh melalui backend Flask untuk mengirimkan hasil deteksi. Namun demikian, pendekatan ini sangat bergantung pada layanan pihak ketiga, stabilitas koneksi internet, serta kebijakan platform Telegram, sehingga fleksibilitas pengelolaan sistem menjadi terbatas[131].

Pendekatan Flask + MQTT + Flutter menyediakan mekanisme notifikasi berbasis aplikasi khusus yang dirancang sesuai kebutuhan sistem. MQTT digunakan sebagai protokol komunikasi ringan untuk mengirimkan event notifikasi secara real-time, sementara Flutter berperan sebagai antarmuka dashboard mobile yang

menampilkan status sistem, log peristiwa, serta hasil deteksi secara interaktif. Pendekatan ini memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, skalabilitas, dan kontrol penuh terhadap arsitektur sistem, serta tidak bergantung pada layanan notifikasi eksternal. Meskipun memerlukan upaya pengembangan aplikasi tambahan, solusi ini mampu memenuhi kebutuhan untuk sistem pengawasan yang bersifat khusus dan beroperasi secara kontinu[132].

Push Notification berbasis Firebase Cloud Messaging (FCM) menawarkan mekanisme notifikasi tingkat sistem operasi yang ringan dan cepat, dengan latensi rendah serta konsumsi sumber daya yang efisien. Notifikasi dapat dikirim langsung ke perangkat Android atau iOS tanpa harus membuka aplikasi secara aktif. Integrasi dengan YOLOv8 dapat dilakukan melalui backend untuk mengirimkan metadata deteksi maupun pesan peringatan. Namun, pendekatan ini tetap bergantung pada layanan Firebase dan koneksi internet yang stabil, sehingga terdapat keterbatasan dalam hal kustomisasi dan ketergantungan pada infrastruktur cloud pihak ketiga[133].

Secara keseluruhan, ketiga metode notifikasi tersebut mampu memenuhi kebutuhan penyampaian peringatan secara real-time. Akan tetapi, dengan mempertimbangkan aspek fleksibilitas sistem, integrasi penuh dengan modul AI, serta efisiensi biaya dan keberlanjutan jangka panjang, pendekatan Flask + MQTT + Flutter dipandang sebagai solusi yang sesuai untuk diimplementasikan pada sistem pengawasan kehilangan dan kesalahan penempatan produk yang diusulkan.

2.1.1.4 Sistem harus menyimpan semua data aktivitas, identitas produk, dan peringatan dalam bentuk log yang terintegrasi sehingga dapat dijadikan bukti konkrit minimal 50 entri log aktivitas beserta gambar hasil deteksi per hari tanpa menurunkan performa sistem.

Kemampuan penyimpanan data aktivitas merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem pengawasan rak berbasis *deep learning*, karena menjadi landasan utama untuk keperluan evaluasi sistem, audit operasional, serta pembuktian apabila terjadi insiden kehilangan maupun kesalahan penempatan produk. Oleh sebab itu, sistem dirancang agar mampu merekam dan menyimpan seluruh data aktivitas, informasi identitas produk, serta peringatan yang dihasilkan

dalam bentuk log terintegrasi yang dapat diakses kembali pada saat diperlukan[134].

Setiap peristiwa yang teridentifikasi sebagai aktivitas abnormal, seperti pengambilan produk tanpa melalui transaksi, pola pergerakan yang mencurigakan, maupun kesalahan dalam penempatan produk, akan dicatat secara otomatis oleh sistem. Data log yang disimpan mencakup informasi waktu kejadian (timestamp), jenis aktivitas yang terdeteksi, hasil klasifikasi dari sistem, serta citra atau cuplikan visual hasil proses deteksi sebagai bukti pendukung. Dengan mekanisme ini, sistem tidak hanya mampu memberikan peringatan secara real-time, tetapi juga menyediakan rekam jejak digital yang dapat dipertanggungjawabkan secara objektif.

Secara kuantitatif, sistem ditargetkan memiliki kemampuan untuk menyimpan minimal 50 entri log aktivitas per hari, termasuk data citra hasil deteksi, tanpa menurunkan kinerja pemrosesan utama. Pencapaian target ini dimungkinkan melalui pemisahan tugas antara proses inferensi real-time dan proses penyimpanan data, di mana hasil deteksi disimpan secara asinkron ke media penyimpanan lokal maupun basis data terpusat. Pendekatan tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya bottleneck pada proses komputasi visual yang bersifat kritis terhadap waktu (time-critical).

Selain itu, struktur penyimpanan log dirancang dalam format yang terorganisir dan konsisten, sehingga memudahkan proses penelusuran data, analisis historis, serta integrasi dengan sistem lain pada tahap pengembangan selanjutnya. Dengan tersedianya data log yang lengkap dan terdokumentasi dengan baik, sistem mampu mendukung kebutuhan audit operasional, evaluasi kinerja sistem deteksi, serta penyusunan laporan insiden secara objektif dan berbasis data.

Tabel 2.7 Perbandingan Spesifikasi Database

Aspek Evaluasi	File System + Metadata DB[135]	MongoDB[136]	PostgreSQL Terpusat[137]

Model Penyimpanan	Gambar disimpan sebagai file lokal, metadata di DB	Data & gambar disimpan sebagai dokumen	Data log dan gambar disimpan terintegrasi
Konsistensi Data	Rentan tidak sinkron	Baik	Sangat Tinggi (ACID)
Penyimpanan Gambar	File system	Binary JSON	BYTEA / Large Object
Skalabilitas	Rendah–Sedang	Tinggi	Tinggi
Query & Audit Log	Terbatas	Kurang optimal	Sangat Kuat (SQL)

Berdasarkan perbandingan aspek evaluasi pada tabel, terdapat tiga pendekatan utama yang dipertimbangkan untuk penyimpanan data aktivitas dalam sistem pengawasan rak, yaitu kombinasi file system dengan basis data metadata, MongoDB, dan PostgreSQL terpusat. Masing-masing pendekatan memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal model penyimpanan, konsistensi data, skalabilitas, serta kemampuan audit dan kueri.

Pendekatan file system yang dikombinasikan dengan basis data metadata menyimpan citra sebagai berkas lokal, sementara informasi pendukung dicatat dalam basis data. Model ini relatif sederhana dan mudah diimplementasikan, namun memiliki kelemahan pada aspek konsistensi data. Ketergantungan pada sinkronisasi antara file system dan basis data metadata menyebabkan pendekatan ini rentan terhadap ketidaksesuaian data, khususnya pada sistem yang bekerja secara kontinu dan real-time. Selain itu, kemampuan kueri dan audit log pada pendekatan ini tergolong terbatas, sehingga kurang optimal untuk kebutuhan pelacakan insiden secara terstruktur[138].

MongoDB menawarkan pendekatan berbasis dokumen, di mana data aktivitas dan citra dapat disimpan dalam satu struktur dokumen menggunakan format binary JSON. Keunggulan utama MongoDB terletak pada skalabilitas yang tinggi serta

fleksibilitas struktur data, sehingga sesuai untuk sistem dengan volume data yang terus berkembang. Namun demikian, dari sisi konsistensi dan kemampuan kueri audit yang kompleks, MongoDB masih memiliki keterbatasan dibandingkan basis data relasional, terutama ketika dibutuhkan pelacakan histori kejadian yang ketat dan terstruktur[139].

Sementara itu, PostgreSQL terpusat menyediakan model penyimpanan data dan citra yang terintegrasi dalam satu sistem basis data dengan dukungan tipe data seperti BYTEA atau Large Object. Keunggulan utama pendekatan ini terletak pada konsistensi data yang sangat tinggi melalui penerapan prinsip ACID, serta kemampuan kueri dan audit log yang kuat menggunakan Structured Query Language (SQL). Selain itu, PostgreSQL memiliki skalabilitas yang baik dan mendukung analisis historis secara komprehensif, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan audit, evaluasi sistem, dan pembuktian insiden kehilangan atau kesalahan penempatan produk[140].

Berdasarkan hasil perbandingan yang telah dilakukan, PostgreSQL ditetapkan sebagai pilihan yang paling tepat untuk digunakan . Pemilihan tersebut didasarkan karena Postgre mendukung kebutuhan sistem untuk menyimpan sedikitnya 50 entri log aktivitas per hari beserta citra hasil deteksi, tanpa menimbulkan penurunan performa pemrosesan sistem secara keseluruhan. Integrasi menyeluruh antara data aktivitas, identitas produk, waktu kejadian, serta informasi visual dalam satu basis data terpusat memastikan tingkat konsistensi dan keandalan data yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bukti yang valid apabila diperlukan dalam proses audit maupun analisis lanjutan.

Selain itu, PostgreSQL memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan arsitektur sistem yang dirancang, yang memanfaatkan Flask sebagai backend, MQTT sebagai mekanisme notifikasi, serta Flutter sebagai platform dashboard. Dukungan konektivitas yang luas dan stabil memungkinkan PostgreSQL berintegrasi dengan berbagai komponen sistem tersebut secara andal. Kemampuannya dalam menangani kueri yang kompleks, transaksi secara simultan, serta penyimpanan data terstruktur menjadikan PostgreSQL sangat sesuai untuk sistem pengawasan

berbasis visi komputer yang menuntut keandalan tinggi, keterlacakan data yang baik, serta skalabilitas yang mendukung kebutuhan sistem.

2.1.1.5 Sistem harus dirancang agar dapat beroperasi secara kontinu selama 10-12 jam per hari dengan konsumsi daya yang efisien dan handal

Kapasitas suplai daya merupakan aspek krusial dalam sistem pengawasan kehilangan dan kesalahan penempatan produk berbasis *deep learning*, karena berpengaruh langsung terhadap keberlangsungan operasional dan keandalan sistem selama jam operasional toko. Sistem dirancang agar mampu beroperasi secara kontinu dan stabil selama 10–12 jam per hari dengan tingkat konsumsi daya yang efisien, sehingga seluruh komponen sistem, termasuk unit pemrosesan, kamera, serta modul notifikasi, dapat berfungsi secara konsisten tanpa mengalami penurunan kinerja maupun gangguan selama proses pemantauan, analisis citra, dan pengiriman peringatan berlangsung[141].

Tabel 2.8 Perbandingan Spesifikasi Suplai Daya

Komponen Suplai Daya	Tegangan dan Arus Keluaran	Kapasitas Daya (Wh)	Kelebihan	Kekurangan
Baterai Lithium-ion 18650 (3x paralel)[142]	3.7V × 3 / 2200mAh	±25 Wh	Hemat daya, portabel, dapat diisi ulang	Perlu modul step-up converter (5V/12V) dan proteksi
Adaptor DC 12V 5A[143]	12V / 5A	±60 Wh per jam	Stabil, mudah didapat, mendukung beban Raspberry Pi dan kamera	Konsumsi daya relatif lebih besar dibanding adaptor berarus rendah (2A–3A), Ukuran fisik adaptor sedikit lebih

				besar dan menghasilkan panas lebih tinggi pada beban maksimal, Tidak memiliki fungsi cadangan daya
UPS Mini DC 12V/24Wh [144]	12V / 2A	±24 Wh	Menyediakan cadangan daya otomatis saat listrik padam, waktu backup 1–2 jam	Harga relatif lebih tinggi
Power Bank 5V 20.000mAh [145]	5V / 2A	±100 Wh	Mudah digunakan, kompatibel langsung dengan Raspberry Pi	Tidak bisa menghidupkan beban tinggi seperti lampu strobo 12V

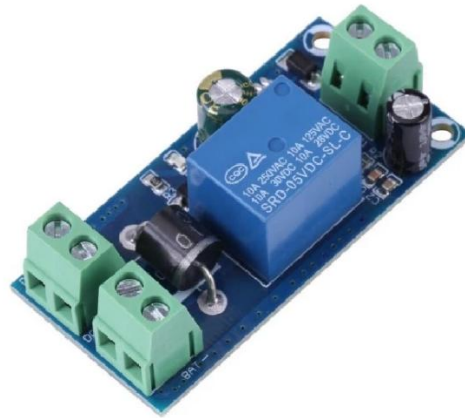
ADAPTOR 12V 3A / 5A



Gambar 2.7 Adaptor DC 12V 5A

Berdasarkan hasil perbandingan komponen sumber daya, Adaptor DC 12V 5A dipilih sebagai pilihan utama karena mampu memberikan suplai tegangan yang stabil dengan arus yang cukup besar untuk mendukung kinerja seluruh sistem. Kapasitas arus yang lebih tinggi memberikan ruang aman (safety margin) saat sistem berada dalam kondisi beban maksimal, misalnya ketika Raspberry Pi menjalankan proses deteksi objek menggunakan YOLOv8 secara bersamaan dengan aktivasi lampu strobo. Adaptor ini juga dapat dikombinasikan dengan *buck converter* untuk menurunkan tegangan menjadi 5V, sesuai kebutuhan Raspberry Pi dan perangkat elektronik lainnya. Selain memberikan performa daya yang stabil, adaptor 12V 5A umumnya dilengkapi dengan fitur perlindungan seperti overcurrent protection, overvoltage protection, dan short-circuit protection, yang berfungsi mencegah kerusakan akibat lonjakan arus atau korsleting. Dengan karakteristik tersebut, adaptor ini dinilai paling andal dan aman digunakan untuk operasi jangka panjang dalam sistem pengawasan rak sistem pengawasan kehilangan dan kesalahan penempatan produk berbasis *deep learning*[146].

Adaptor 12V 5A merupakan suplai daya utama pada sistem, oleh karena diperlukan suplai daya cadangan yang berperan sebagai suplai daya cadangan (*Back-up Supply*) jika terjadi pemadaman listrik. Maka dari itu, diperlukan suplai daya cadangan seperti UPS Mini DC 12V, yang mampu memberikan backup power otomatis selama 1–2 jam saat terjadi pemadaman. Kombinasi antara adaptor 12V 5A dengan UPS mini DC 12V dinilai paling aman dan profesional, karena UPS juga berfungsi melindungi sistem dari voltage drop dan fluktuasi tegangan mendadak[147].



Gambar 2.8 UPS Mini DC 12V

Dengan mempertimbangkan kebutuhan energi, aspek keselamatan, serta kemudahan dalam implementasi, konfigurasi adaptor DC 12 V 3 A sebagai sumber daya utama dan UPS Mini DC 12 V sebagai sumber cadangan merupakan kombinasi yang paling tepat untuk kebutuhan sistem. Konfigurasi ini mampu menyediakan suplai daya yang stabil dan efisien, sekaligus meminimalkan risiko terjadinya *overpower*, panas berlebih (*overheating*), maupun korsleting.

2.1.2 Spesifikasi Produk Subsistem 2: Kedaluwarsa

Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan menggunakan pendekatan *House of Quality* (HoQ), ditetapkan Solusi 1, yaitu Sistem Inventaris dan Pemantauan Kedaluwarsa berbasis *Computer Vision* yang mengintegrasikan kemampuan pembacaan kode batang (*barcode*) dan pengenalan karakter optis (*Optical Character Recognition/OCR*) sebagai solusi utama. Pemilihan solusi ini didasarkan pada capaian nilai tertinggi dalam aspek efisiensi waktu dan akurasi data dibandingkan metode manual, serta kemampuannya yang menyeluruh dalam mendigitalkan informasi fisik kemasan produk menjadi data digital yang terstruktur.

Sistem ini dirancang sebagai unit pemindai cerdas yang memanfaatkan modul kamera resolusi tinggi dengan kemampuan fokus jarak dekat (*macro*) sebagai perangkat input utama. Kamera dikonfigurasi untuk mengakuisisi citra kemasan produk secara detail, khususnya pada area yang memuat informasi identitas

(*barcode*) dan tanggal kedaluwarsa. Data visual yang diperoleh selanjutnya diproses menggunakan algoritma pengolahan citra digital untuk memisahkan objek dari latar belakang, memperbaiki kualitas citra melalui pengaturan kontras dan pencahayaan, serta melokalisasi area teks yang relevan secara otomatis tanpa memerlukan input manual pengguna.

Pada tahap pemrosesan inti, sistem menerapkan dua algoritma pengenalan pola secara paralel. Pertama, algoritma *barcode decoding* digunakan untuk menerjemahkan kode batang 1D standar ritel (seperti EAN-13 dan Code128) guna mendapatkan identitas unik produk, bahkan pada dimensi modul (*x-dimension*) yang bervariasi. Kedua, sistem memanfaatkan model deteksi objek yang dikombinasikan dengan *Optical Character Recognition* (OCR) untuk mengekstraksi karakter numerik tanggal kedaluwarsa dari permukaan kemasan. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem mampu membaca informasi vital produk meskipun terdapat variasi dalam jenis *font*, ukuran teks, maupun tata letak pencetakan pada kemasan.

Kemampuan ekstraksi data tersebut kemudian diolah oleh logika bisnis sistem untuk menentukan kelayakan produk secara *real-time*. Sistem melakukan komparasi matematis antara tanggal kedaluwarsa yang terbaca dengan tanggal operasional saat ini. Hasil komparasi ini diklasifikasikan ke dalam kategori status yang terukur, yaitu kategori "Aman", "Peringatan" (*Warning*) untuk produk yang mendekati batas waktu tertentu, dan "Kedaluwarsa" (*Expired*) untuk produk yang telah melewati masa layak jual. Logika ini memungkinkan sistem tidak hanya mendata barang, tetapi juga bertindak sebagai penjamin mutu (*Quality Assurance*) otomatis di level toko.

Untuk mendukung respons operasional yang cepat dan intuitif, sistem dilengkapi dengan mekanisme umpan balik visual melalui antarmuka pengguna. Ketika status produk teridentifikasi, sistem akan menampilkan informasi tersebut disertai indikator warna yang relevan (misalnya merah untuk kedaluwarsa) segera setelah pemindaian selesai. Dengan mekanisme ini, potensi penjualan barang yang tidak layak konsumsi dapat dicegah secara dini, dan staf toko dapat segera memisahkan produk bermasalah dari rak penjualan.

Seluruh aktivitas pemindaian dan status produk yang dihasilkan dicatat dalam bentuk *log* inventaris terpusat. Data tersebut mencakup ID produk, tanggal pemindaian, tanggal kedaluwarsa yang terdeteksi, serta status kelayakan. Penyimpanan data ini bertujuan untuk keperluan audit stok, analisis laju perputaran barang, serta memberikan wawasan (*insight*) mengenai manajemen stok agar pemilik toko dapat meminimalisir kerugian akibat barang terbuang (*waste*).

Dari aspek operasional, perangkat keras sistem dispesifikasikan untuk bekerja pada kondisi lingkungan toko yang dinamis. Sistem dilengkapi dengan pencahayaan tambahan (*auxiliary lighting*) yang terkendali untuk menjamin konsistensi intensitas cahaya (Lux) pada permukaan objek, sehingga akurasi pembacaan kamera tidak terpengaruh oleh perubahan pencahayaan ruangan toko. Unit pemrosesan juga dipilih agar mampu melakukan komputasi inferensi model *Deep Learning* dengan latensi rendah, memastikan alur kerja petugas tidak terhambat oleh waktu tunggu sistem.

Adapun spesifikasi utama yang dibutuhkan dari sistem ini berkaitan dengan parameter akuisisi citra, kemampuan algoritma deteksi dan OCR, logika klasifikasi waktu, serta standar komunikasi data. Spesifikasi teknis terperinci yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2.9 Spesifikasi Produk Subsistem 2

Spesifikasi		
No.	Parameter	Spesifikasi Teknis
1.	Akuisisi citra produk	Sistem harus mampu menangkap citra <i>barcode</i> dan tanggal dengan jelas pada jarak yang bervariasi 8 cm - 30 cm
2.	Pemrosesan Komputasi	Sistem harus mampu menjalankan <i>barcode decoding</i> maupun algoritma OCR dengan waktu pemrosesan ≤ 5 detik per <i>scan</i>
3.	Interaksi Visual & Navigasi	Sistem membutuhkan media untuk menampilkan <i>viewfinder</i> kamera dan hasil teks kepada pengguna secara terbaca pada kondisi cahaya pada lux 300 - 500.

2.1.2.1 Spesifikasi 1 : Sistem harus mampu menangkap citra teks kecil dan barcode dengan jelas pada jarak yang bervariasi 8 cm - 30 cm

Akuisisi citra berfungsi sebagai gerbang utama masuknya data visual ke dalam sistem. Kualitas citra yang dihasilkan pada tahap ini memiliki korelasi langsung dengan tingkat keberhasilan (*accuracy rate*) pada tahap pemrosesan selanjutnya, yaitu pembacaan *barcode* dan ekstraksi teks (*Optical Character Recognition/OCR*). Oleh karena itu, spesifikasi teknis pada subsistem ini dirancang secara ketat untuk mengatasi tantangan variabilitas visual pada kemasan produk di lingkungan toko kelontong modern.

Spesifikasi utama yang ditetapkan adalah kemampuan menangkap detail teks kecil dan pola garis kode batang yang rapat. Berdasarkan karakteristik fisik produk, teks tanggal kedaluwarsa umumnya memiliki tinggi karakter 2-4 mm dengan jenis cetakan *dot-matrix*, sedangkan kode batang memiliki dimensi modul (*X-dimension*) hingga 0,25 mm . Untuk mengakomodasi hal ini, perangkat kamera harus memiliki resolusi spasial yang memadai serta kemampuan fokus pada jarak dekat (*macro*) dalam rentang operasional 8 – 30 cm [148]. Jarak ini disesuaikan dengan ergonomi jangkauan tangan pengguna saat memindai barang.

Untuk menentukan perangkat yang paling memenuhi spesifikasi tersebut, dilakukan analisis perbandingan terhadap tiga jenis kamera yang umum digunakan dalam pengembangan sistem tertanam, yaitu Logitech C270, Raspberry Pi Camera Module V2, dan Raspberry Pi Camera Module V3. Perbandingan spesifikasi teknis ketiga perangkat tersebut disajikan pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Spesifikasi Kamera

Parameter	Logitech C270 (Webcam) [149]	Raspberry Pi Camera Module V2 [150]	Raspberry Pi Camera Module V3 [150]
Resolusi Sensor	0.9 MP (1280 x 720)	8 MP (3280 x 2464)	12 MP (4608 x 2592\$)
Tipe Fokus	<i>Fixed Focus</i>	<i>Manual Adjustable</i>	<i>Auto Focus (PDAF)</i>

Rentang Jarak Fokus	40 cm - ∞	<i>Manual Adjustable</i>	5 cm - ∞
Antarmuka (Interface)	USB 2.0	MIPI CSI-2	MIPI CSI-2
Power Consumption	≈ 200 mA (5 V)	≈ 250 mA (3.3 V)	≈ 300 mA (3.3 V)
Dimension	70 x 30 x 70 mm	25 x 24 x 9 mm	25 x 24 x 11.5 mm
Fitur Tambahan	<i>Auto Light Correction</i> (Software)	-	<i>High Dynamic Range</i> (HDR)
Harga	Rp. 450.000	Rp. 550.000	Rp. 650.000

Berdasarkan data pada tabel di atas, dilakukan analisis pemilihan perangkat dengan mempertimbangkan aspek performa optik, integrasi mekanikal, dan efisiensi biaya. Dari segi optik dan resolusi, Logitech C270 memiliki keterbatasan utama pada mekanisme Fixed Focus yang dikalibrasi untuk jarak jauh (> 40 cm), sehingga tidak dapat menghasilkan citra tajam pada jarak operasional sistem (8 - 30 cm) tanpa modifikasi fisik [149]. Raspberry Pi Camera V2 memiliki densitas piksel yang lebih baik (8MP), namun mekanisme fokusnya bersifat statis (manual tuning), yang menyulitkan penyesuaian jika terjadi variasi ketebalan produk. Sebaliknya, Raspberry Pi Camera V3 unggul dengan fitur Autofocus berbasis Phase Detection (PDAF). Fitur ini memungkinkan lensa menyesuaikan titik fokus secara dinamis dan real-time mulai dari jarak 5 cm, menjamin ketajaman citra teks tanggal pada setiap pemindaian tanpa memerlukan kalibrasi ulang [150].

Dari segi integrasi mekanikal, Logitech C270 memiliki dimensi fisik yang besar karena menyatu dengan casing dan klip monitor, sehingga memakan ruang yang signifikan jika diintegrasikan ke dalam alat compact [149]. Sementara itu, varian Raspberry Pi Camera (V2 dan V3) hadir dalam bentuk modul PCB ringkas yang sangat efisien secara ruang. Selain itu, penggunaan antarmuka MIPI CSI-2 pada modul kamera mengurangi beban CPU dibandingkan antarmuka USB, sehingga

sumber daya komputasi dapat dialokasikan lebih maksimal untuk proses inferensi AI [150].

Meskipun Raspberry Pi Camera V3 memiliki estimasi harga tertinggi (selisih sekitar Rp 100.000 dibandingkan V2), investasi ini memberikan nilai fungsional yang signifikan. Biaya ini menggantikan kebutuhan akan mekanisme penggerak kamera eksternal atau lensa tambahan yang diperlukan jika menggunakan kamera fokus tetap. Dalam konteks keandalan sistem jangka panjang, fitur *Autofocus* dan resolusi 12 MP memberikan jaminan akurasi data yang lebih tinggi, yang sebanding dengan biaya yang dikeluarkan [150].



Gambar 2.9 Raspberry Cam Module 3 [150]

Berdasarkan hasil analisis perbandingan dan pertimbangan teknis yang mendalam, Raspberry Pi Camera Module V3 ditetapkan sebagai solusi perangkat keras terpilih untuk subsistem akuisisi citra. Keputusan ini diambil karena spesifikasi modul tersebut secara komprehensif memenuhi kebutuhan sistem akan presisi dan fleksibilitas. Modul ini mengusung sensor Sony IMX708 resolusi 12 Megapiksel yang menjamin detail citra tetap tajam untuk proses ekstraksi teks (OCR), serta dilengkapi teknologi Autofocus berbasis Phase Detection (PDAF) yang mampu menyesuaikan titik fokus secara otomatis dan cepat mulai dari jarak 5 cm hingga tak hingga [150].

Selain keunggulan optik, pemilihan ini didukung oleh efisiensi arsitektur perangkat keras, di mana penggunaan antarmuka MIPI CSI-2 memungkinkan transfer data berkecepatan tinggi langsung ke prosesor tanpa membebani bus USB. Didukung dengan dimensi fisik PCB yang sangat ringkas (25 x 24 x 11.5 mm) dan konsumsi daya yang efisien (300mA), perangkat ini menawarkan kemudahan integrasi mekanikal ke dalam desain alat yang compact sekaligus menjamin performa yang andal untuk operasional deteksi produk secara real-time [150].

2.1.2.2 Spesifikasi 2: Sistem harus mampu menjalankan *barcode decoding* maupun algoritma OCR dengan waktu pemrosesan ≤ 5 detik per scan

Sistem ini bertugas menerima input citra digital dari kamera, melokalisasi keberadaan kode batang (barcode), dan menerjemahkan pola garis visual tersebut menjadi data string alfanumerik yang dapat diproses oleh komputer. Spesifikasi teknis untuk engine pembacaan ini ditentukan berdasarkan kebutuhan operasional toko kelontong yang menuntut kecepatan dan fleksibilitas. Pertama, engine harus mendukung standar simbologi 1D ritel utama (EAN-13, UPC-A, Code128) sesuai spesifikasi produk yang beredar di pasar [151]. Kedua, mengingat sistem dijalankan pada perangkat tertanam (embedded device) dengan sumber daya komputasi terbatas, algoritma yang digunakan haruslah ringan (lightweight) dan memiliki latensi pemrosesan yang rendah (<200 ms per frame) untuk menjaga responsivitas real-time. Ketiga, engine harus memiliki ketahanan (robustness) terhadap orientasi objek, memungkinkan pembacaan barcode yang miring atau terotasi tanpa mengharuskan pengguna menyejajarkan produk secara presisi [152].

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, dilakukan analisis perbandingan terhadap tiga pustaka (library) pemrosesan barcode sumber terbuka (open source) yang populer digunakan dalam pengembangan Computer Vision, yaitu ZBar, ZXing (Zebra Crossing), dan modul Barcode bawaan OpenCV. Perbandingan karakteristik teknis ketiga engine tersebut disajikan pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.11 Spesifikasi *Library Barcode*

Parameter	ZBar (via pyzbar) [153]	ZXing (Zebra Crossing) [154]	OpenCV Barcode Detector [155]
Arsitektur Inti	Bahasa C (Sangat Ringan)	Bahasa Java (Porting ke C++)	C++ (Bagian dari OpenCV)
Spesialisasi Format	Sangat optimal untuk 1D Barcode	Komprehensif (1D + 2D/QR kuat)	Umum (QR & Basic 1D)
Kinerja Kecepatan	Sangat Cepat (Low Latency) pada 1D	Menengah (High Overhead)	Cepat, namun kurang akurat pada 1D miring

Dukungan Rotasi	Baik (Mampu membaca orientasi acak)	Baik	Terbatas (Sensitif terhadap sudut)
Konsumsi Memori	Rendah (Efisien untuk <i>Embedded</i>)	Tinggi (Boros memori)	Sedang (Tergantung modul)
Integrasi Python	Sangat Mudah (pyzbar)	Rumit (Butuh <i>wrapper</i> berat)	<i>Native</i> (cv2)
Lisensi	LGPL 2.1 (<i>Open Source</i>)	Apache 2.0 (<i>Open Source</i>)	Apache 2.0 (<i>Open Source</i>)

Berdasarkan analisis komparatif, ZBar (diimplementasikan melalui modul pyzbar) ditetapkan sebagai *engine* identifikasi produk karena arsitekturnya yang terspesialisasi untuk dekoding barcode 1D dengan latensi yang jauh lebih rendah dan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan ZXing maupun OpenCV. Keputusan ini diperkuat oleh efisiensi sumber daya ZBar yang berbasis bahasa C, sehingga meminimalkan beban CPU dan RAM demi menjaga ketersediaan performa untuk proses krusial lainnya pada perangkat keras tertanam. Selain itu, dukungan pustaka pyzbar menawarkan stabilitas integrasi yang mulus dengan ekosistem Python dan OpenCV, memastikan waktu pengembangan yang lebih efisien serta meminimalisir risiko inkompatibilitas sistem dibandingkan solusi alternatif [153] [154] [155].

Setelah identifikasi produk melalui barcode, alur kerja berlanjut pada tahap lokalisasi informasi tanggal kedaluwarsa. Dikarenakan letak tanggal kedaluwarsa pada kemasan produk ritel sering kali terpisah atau berada di sisi yang berbeda dari barcode, sistem melakukan pengambilan ulang citra dengan cakupan area pandang yang lebih luas. Pendekatan ini memungkinkan pemindaian menyeluruh untuk menetapkan ROI baru yang spesifik pada area teks, memisahkan proses deteksi tanggal dari batasan spasial saat pemindaian barcode dilakukan.

Sistem ini dirancang untuk menangani tugas visual yang paling kompleks, yaitu menemukan lokasi tanggal kedaluwarsa pada kemasan yang memiliki tata letak acak (*unstructured*) dan menerjemahkannya menjadi data digital. Berbeda dengan pembacaan barcode yang memiliki pola standar, teks tanggal kedaluwarsa sering

kali tersembunyi di antara elemen visual lain seperti logo, komposisi, atau pola kemasan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, sistem menerapkan arsitektur pemrosesan bertingkat (*Two-Stage Pipeline*). Tahap pertama adalah Lokalisasi Teks, di mana sistem mendeteksi koordinat area (*Region of Interest*) yang memuat tanggal. Tahap kedua adalah Pengenalan Teks (OCR), di mana area yang telah terdeteksi dipotong (*cropped*) dan diterjemahkan menjadi karakter alfanumerik [156].

Pada tahap lokalisasi, sistem membutuhkan algoritma deteksi objek yang mampu membedakan teks tanggal kedaluwarsa dari teks lain (seperti nomor izin edar atau berat bersih) dengan cepat. Mengingat sistem berjalan pada perangkat tertanam (*embedded device*) dengan sumber daya komputasi terbatas, efisiensi model menjadi prioritas utama [157].

Dilakukan perbandingan terhadap tiga arsitektur *Deep Learning* populer: Faster R-CNN (representasi *Two-Stage Detector*), SSD MobileNet V2 (representasi *Single-Stage* ringan), dan YOLOv8 Nano (representasi *Single-Stage* modern). Perbandingannya disajikan pada Tabel 2.12

Tabel 2.12 Spesifikasi Deteksi Tanggal

Parameter	Faster R-CNN (ResNet50) [158]	SSD MobileNet V2 [159]	YOLOv8 Nano [160]
Arsitektur	Two-Stage Detector (RPN + Classifier)	Single-Stage Detector	Single-Stage Detector (Anchor-free)
Akurasi (mAP)	Sangat Tinggi (Presisi tinggi pada objek kecil)	Sedang	Tinggi (Seimbang)
Kecepatan Inferensi	Lambat (> 1-2 FPS pada CPU ARM)	Cepat (~10-15 FPS)	Sangat Cepat (~15-20 FPS)
Ukuran Model	Besar (> 100 MB)	Kecil (~20 MB)	Sangat Kecil (~6 MB)

Kompleksitas Training	Tinggi (Waktu training lama)	Sedang	Rendah (Framework user-friendly)
Kesesuaian Edge Device	Kurang Sesuai (Berat)	Sesuai	Sangat Sesuai

Berdasarkan tabel di atas, Faster R-CNN dieliminasi karena arsitektur dua tahapnya (*Region Proposal Network*) terlalu berat untuk dijalankan secara *real-time* pada Raspberry Pi tanpa akselerator tambahan [158]. Meskipun SSD MobileNet V2 cukup ringan, YOLOv8 Nano dipilih sebagai solusi terbaik karena menawarkan keseimbangan *speed-to-accuracy* yang lebih unggul (State-of-the-Art). Ukuran model YOLOv8n yang sangat kecil (~6MB) sangat efisien untuk dimuat dalam RAM perangkat tertanam, memungkinkan sisa memori digunakan untuk proses lain [159] [160].

Setelah lokasi tanggal ditemukan, tahap selanjutnya adalah membaca karakter pada potongan gambar tersebut. Tantangan utama pada tahap ini adalah variasi jenis huruf (*font*), termasuk cetakan *dot-matrix* yang sering digunakan pada kemasan produk [9].

Perbandingan dilakukan terhadap tiga *engine* OCR utama: Tesseract (berbasis LSTM), EasyOCR (berbasis PyTorch), dan PaddleOCR (berbasis PaddlePaddle). Analisis karakteristik teknisnya dijelaskan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Spesifikasi OCR

Parameter	Tesseract OCR [161]	EasyOCR [162]	PaddleOCR [163]
Basis Teknologi	LSTM (Long Short-Term Memory)	Deep Learning (PyTorch + CRAFT)	Deep Learning (PaddlePaddle)
Ketergantungan GPU	Rendah (CPU Optimized)	Tinggi (Sangat lambat di CPU)	Sedang (Bisa berjalan di CPU)
Kecepatan (CPU)	Sangat Cepat (< 0.5 detik/image)	Lambat (> 2 detik/image)	Sedang (~1 detik/image)
Akurasi Teks Miring	Kurang (Perlu rotasi manual)	Sangat Baik	Baik
Ukuran Library	Ringan	Berat (Install PyTorch)	Sedang
Lisensi	Apache 2.0	Apache 2.0	Apache 2.0

EasyOCR memiliki akurasi yang sangat baik namun memiliki ketergantungan tinggi pada GPU; menjalankannya pada CPU Raspberry Pi menyebabkan latensi yang tinggi (bottleneck). PaddleOCR menawarkan versi ringan (*ultra-lightweight*), namun instalasi dependensi PaddleOCR pada arsitektur ARM terkadang kompleks dan memakan ruang penyimpanan besar.

Oleh karena itu, Tesseract OCR dipilih sebagai *engine* utama. Alasan utamanya adalah efisiensi ekstrem pada arsitektur CPU. Karena tugas berat "mencari lokasi teks" dan "mengoreksi rotasi" sudah dapat ditangani sebagian oleh output dari YOLO (tahap sebelumnya), Tesseract dapat fokus bekerja pada input gambar yang sudah dipotong (*cropped*), sehingga kelemahannya pada teks miring dapat diminimalisir.

Mengingat sistem ini dirancang untuk menjalankan dua algoritma visi komputer secara berurutan (*sequential*), yaitu deteksi kode batang dan pengenalan karakter optis (OCR), beban komputasi yang dihasilkan cukup signifikan.

Tantangan utama dalam pemilihan unit pemrosesan adalah menyeimbangkan antara Kecepatan Respons (Latensi) dan Ketelitian (Akurasi). Penggunaan model AI yang sangat kompleks akan meningkatkan akurasi pembacaan di atas 90%, namun berpotensi membebani prosesor sehingga waktu tunggu menjadi lama (> 10 detik), yang mana hal ini akan menghambat operasional toko. Sebaliknya, penggunaan model yang terlalu sederhana agar cepat, berpotensi menurunkan akurasi di bawah ambang batas toleransi (80%) [164].

Oleh karena itu, ditetapkan spesifikasi kinerja komputasi yang meliputi tiga aspek utama. Pertama, unit pemrosesan harus memiliki Kemampuan Multitasking dengan mendukung sistem operasi berbasis Linux (seperti Raspbian/Ubuntu), yang krusial untuk memfasilitasi manajemen memori yang efisien saat menjalankan pustaka *Computer Vision*. Kedua, sistem diwajibkan memenuhi Batas Latensi dengan menyelesaikan siklus pemrosesan dalam waktu maksimal 5 detik agar pengguna tidak mengalami penundaan saat memindai banyak barang. Ketiga, untuk Dukungan Akurasi, perangkat keras harus memiliki kapasitas memori (RAM) dan kecepatan CPU yang memadai, minimal *Quad-Core*, guna memuat model deteksi yang tangguh (robust). Hal ini bertujuan untuk mencapai target akurasi pembacaan minimal 80%, bahkan tanpa memerlukan akselerator GPU eksternal. Berdasarkan kebutuhan kinerja ini, selanjutnya akan dilakukan perbandingan antara beberapa platform perangkat keras tertanam (embedded system) seperti yang akan disajikan pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Spesifikasi Unit Pemrosesan

Parameter	Raspberry Pi 4B [165]	NVIDIA Jetson Nano [166]
Arsitektur CPU	Quad-core Cortex-A72 @ 1.5 GHz	Quad-core Cortex-A57 @ 1.43GHz
Akselerator AI	Tidak Ada (Murni CPU, opsional via HAT)	GPU NVIDIA Maxwell 128-core
Kapasitas RAM	8GB LPDDR4	4GB LPDDR4
Dimensi Fisik	85 mm x 56 mm	100 mm x 80 mm

Konsumsi Daya	<i>Idle: ~3W</i> <i>Load: 6W - 12W (Butuh pendingin aktif)</i>	<i>Idle: ~2.5W</i> <i>Max Mode: 5W atau 10W (Terkunci)</i>
Sistem Operasi	Raspberry Pi OS	Ubuntu 18.04
Harga	Rp 1.350.000	Rp 3.500.000

Jetson Nano memiliki efisiensi daya yang terkunci pada mode 5W/10W, arsitektur CPU Cortex-A57 yang digunakannya sudah tertinggal beberapa generasi. Untuk aplikasi OCR (Tesseract) yang sangat bergantung pada kinerja *single-thread* CPU, Jetson Nano sering kali menjadi *bottleneck*. Di sisi lain, Raspberry Pi 4B menggunakan CPU Cortex-A72 dengan *clock speed* 1.5GHz yang jauh lebih superior. Meskipun konsumsi daya puncaknya bisa mencapai 12W (memerlukan manajemen panas aktif/kipas), Raspberry Pi 4b mampu menyelesaikan tugas pemrosesan citra jauh lebih cepat (*Race to Idle*), sehingga secara total energi yang digunakan per pemindaian produk tetap efisien.

Faktor penentu lainnya adalah dukungan perangkat lunak. Jetson Nano secara resmi hanya mendukung Ubuntu 18.04 (versi lama) yang menyulitkan instalasi pustaka Python modern (seperti Ultralytics YOLOv8 terbaru atau Tesseract). Raspberry Pi 4B mendukung OS terbaru (Debian 12), menjamin kompatibilitas jangka panjang dan kemudahan integrasi dengan modul kamera v3 yang dipilih sebelumnya.



Gambar 2.10 Raspberry Pi 4B [165]

Berdasarkan keunggulan pada kecepatan CPU, dimensi yang lebih ringkas, dan dukungan perangkat lunak terkini, ditetapkan penggunaan Raspberry Pi 4B sebagai unit pemrosesan utama.

Pemilihan ini memastikan sistem mampu mencapai target latensi rendah (≤ 5 detik) saat menjalankan beban kerja hibrida (Deteksi + OCR), dengan dimensi fisik yang tetap memungkinkan alat dikemas dalam bentuk yang ergonomis.

2.1.2.3 Spesifikasi 3: Sistem membutuhkan media untuk menampilkan *viewfinder* kamera dan hasil teks kepada pengguna secara terbaca pada kondisi cahaya pada lux 300 - 500.

Spesifikasi ini berfokus pada aspek interaksi visual antara sistem dan pengguna (human-machine interface). Dalam proses pemindaian produk, pengguna memerlukan umpan balik visual secara real-time untuk memastikan posisi kamera telah tepat sebelum citra diproses oleh sistem. Oleh karena itu, media tampilan harus mampu menampilkan *viewfinder* kamera secara langsung serta hasil ekstraksi informasi (barcode dan tanggal kedaluwarsa) dalam bentuk visual yang mudah dipahami.

Lingkungan operasional sistem umumnya berada di dalam ruangan toko dengan pencahayaan buatan standar, yaitu pada kisaran 300–500 lux. Pada rentang pencahayaan ini, media tampilan dituntut memiliki tingkat kecerahan, kontras, dan resolusi yang memadai agar informasi tetap terbaca dengan jelas tanpa bergantung pada pencahayaan tambahan.

Tabel 2.15 Perbandingan Media Interface

Parameter Teknis	TFT 3,5" Touchscreen [167]	LCD Karakter 20×4 [168]
Jenis Tampilan	TFT LCD grafis berwarna	LCD karakter monokrom
Ukuran Layar	3,5 inci	±3 inci (area karakter)
Resolusi	±320 × 480 piksel	20 kolom × 4 baris karakter
Tampilan Warna	Full color (16-bit / 65K warna)	Monokrom (karakter gelap-terang)

Kecerahan (Brightness, datasheet tipikal)	$\pm 250\text{--}400\text{ cd/m}^2$	Tidak dispesifikasikan secara eksplisit
Keterbacaan pada Pencahayaan 300–500 lux	Baik – sangat baik (teks & grafis tetap jelas)	Cukup – terbatas (tergantung sudut pandang & backlight)
Kontras Tampilan	Tinggi, dapat diatur secara software	Terbatas, tidak adaptif
Dukungan Elemen Visual (ikon, bounding box, highlight)	Didukung penuh	Tidak didukung
Penyajian Produk Status (warna hijau/kuning/merah)	Sangat efektif	Tidak memungkinkan
Jumlah Informasi Sekali Tampil	Tinggi (teks + citra + indikator)	Sangat terbatas
Interaksi Pengguna	Touchscreen (langsung)	Tombol eksternal

Berdasarkan analisis komparatif pada Tabel 2.15, LCD TFT 3,5 inci (Touchscreen) dipilih sebagai antarmuka penyajian informasi karena memiliki keunggulan teknis yang linear dengan kebutuhan fungsional sistem. LCD Karakter 20x4 dinilai tidak memadai karena keterbatasan fundamentalnya dalam menampilkan antarmuka grafis berwarna dan alur video (camera preview), yang merupakan syarat mutlak untuk indikator status dan presisi pembidikan objek. Sebaliknya, LCD TFT tidak hanya mengakomodasi kebutuhan visual real-time, tetapi juga menawarkan efisiensi dimensi melalui fitur layar sentuh, yang secara signifikan meningkatkan aspek ergonomi dan portabilitas perangkat saat digunakan secara mobile di lingkungan toko.

2.1.3 Spesifikasi Produk Subsistem 3

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode House of Quality (HOQ), produk yang dirancang berupa sistem pengelolaan stok persediaan barang pada toko

kelontong yang menerapkan teknologi RFID dengan metode FIFO (First In, First Out). Sistem ini dirancang untuk melakukan pengecekan ketersediaan stok barang secara otomatis serta memantau alur transaksi keluar–masuk barang pada toko kelontong. Dengan sistem ini, pemilik toko dapat mengetahui kondisi stok secara real-time dan memastikan perputaran barang berjalan dengan baik.

Untuk mendukung proses pengecekan stok tersebut, diperlukan perangkat yang mampu mengidentifikasi setiap barang menggunakan frekuensi tinggi 800 MHz hingga 900 MHz dengan jangkauan baca sekitar 3–8 meter. Penggunaan frekuensi tinggi memungkinkan barang tetap dapat dikenali meskipun berada dalam kondisi tertumpuk, yang sesuai dengan kondisi penyimpanan barang pada toko kelontong.

Proses identifikasi barang dilakukan menggunakan tag RFID yang dapat dibaca pada frekuensi 800 MHz hingga 900 MHz, dengan ukuran sekitar (120–125) mm × (5–10) mm. Tag ini dirancang agar mudah ditempelkan dan dilepaskan pada kemasan terluar barang, sehingga memudahkan pengguna dalam proses pengelolaan stok. Selain itu, tag RFID yang digunakan mampu bertahan pada kondisi lingkungan toko kelontong dengan rentang suhu ruang antara 25°C hingga 40°C. Ukuran tag yang minimalis juga mendukung kemudahan penggunaan serta menyesuaikan dengan kondisi operasional toko kelontong. Pemilihan frekuensi tinggi pada tag disesuaikan dengan spesifikasi RFID reader untuk menghindari kegagalan komunikasi saat proses pembacaan data.

Data yang tersimpan pada tag RFID akan dibaca oleh RFID reader, kemudian diproses dan dikirimkan ke database. Proses ini memerlukan mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan modul WiFi (IEEE 802.11 b/g/n) agar data dapat dikirimkan ke server dan ditampilkan melalui website. Mikrokontroler yang digunakan harus memiliki waktu respons pengiriman data di bawah 10 detik serta dilengkapi dengan memori tambahan berupa SRAM lebih dari 500 KB untuk menampung data barang sesuai kebutuhan toko kelontong.

Data yang dikirim ke database selanjutnya diolah dan ditampilkan pada website sebagai output sistem. Sistem ini memanfaatkan server database open source yang kompatibel dengan berbagai bahasa pemrograman, seperti Python, sehingga

memudahkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Penerapan metode FIFO (*First In, First Out*) pada database membantu pengguna memantau alur transaksi barang, di mana barang yang masuk lebih awal akan diprioritaskan untuk keluar lebih dulu. Dengan demikian, sistem ini dapat mencegah penumpukan barang, mengurangi risiko barang kedaluwarsa, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan stok pada toko kelontong.

Selanjutnya, Tabel 2.1 menyajikan spesifikasi produk yang dibutuhkan untuk mendukung perancangan sistem pengelolaan stok pada toko kelontong.

Tabel 2.16 Spesifikasi Produk Sub Sistem 3

Kebutuhan	Spesifikasi
Sistem mampu memantau ketersediaan stok barang yang tersimpan di toko	Sistem mampu melakukan identifikasi dan pembacaan data barang secara nirkontak menggunakan komunikasi frekuensi tinggi pada rentang 860-960 MHz dengan jangkauan baca 3–8 meter, sehingga stok dapat dipantau meskipun barang tersusun rapat atau bertumpuk
Sistem mampu mencatat setiap barang masuk dan barang keluar	Sistem harus mampu mencatat transaksi barang masuk dan barang keluar secara otomatis berdasarkan ID tag RFID dengan kapasitas pencatatan minimal ≥ 100 transaksi per hari tanpa kehilangan data.
Sistem mampu memperbarui data stok sesuai dengan aktivitas transaksi yang terjadi	Sistem mampu memproses dan mengirimkan data stok ke basis data dengan waktu respons kurang dari 10 detik, sehingga informasi persediaan selalu diperbarui sesuai aktivitas transaksi
Sistem mudah digunakan oleh	Sistem memiliki antarmuka pemantauan

pengguna tanpa pelatihan intensif	berbasis website yang intuitif dan mudah dipahami, sehingga dapat digunakan tanpa memerlukan pelatihan intensif
Sistem dapat memberikan notifikasi secara audio dan visual	Sistem harus memberikan notifikasi audio dan visual dengan waktu respon ≤ 2 detik setelah pembacaan tag atau transaksi berhasil dilakukan untuk mempermudah proses verifikasi stok.

2.1.3. 1 Spesifikasi 1 : Sistem mampu melakukan identifikasi dan pembacaan data barang menggunakan komunikasi frekuensi tinggi pada rentang 860-960 MHz dengan jangkauan baca 3-8 meter

Pembaca RFID (RFID Reader) berfungsi sebagai komponen utama dalam sistem identifikasi barang secara nirkontak. Teknologi RFID menggunakan gelombang radio untuk membaca data pada tag yang melekat pada barang, sehingga proses identifikasi dapat dilakukan tanpa kontak fisik dan tanpa membutuhkan orientasi langsung antara reader dan tag. UHF RFID merupakan salah satu jenis RFID yang bekerja pada rentang frekuensi 860-960 MHz, yang dikenal memiliki jangkauan baca panjang dan kemampuan membaca banyak tag secara simultan, sehingga sangat cocok digunakan pada sistem inventarisasi dan pengelolaan stok barang retail maupun gudang besar karena mampu mendukung pembacaan barang yang tertata rapat atau bertumpuk. [169]

Dalam konteks inventarisasi dan pemantauan stok, penggunaan reader UHF dengan jangkauan baca beberapa meter memberikan keunggulan dibandingkan RFID frekuensi rendah atau menengah. RFID UHF memungkinkan pembacaan banyak tag dalam satu area secara cepat dan akurat, sehingga sistem stok menjadi lebih efisien dan minim kesalahan manusia. Teknologi ini telah banyak diaplikasikan dalam manajemen rantai pasok, logistik, dan sistem inventaris modern untuk meningkatkan visibilitas dan akurasi data inventaris dibandingkan metode tradisional seperti barcode. [170]

Tabel 2.17 Perbandingan *UHF RFID Reader*

Fitur	Electron HW-VX6330K [171]	ThingMagic M6e [172]	Impinj Speedway R420 [1733]
Rentang Frekuensi	902 – 928 MHz	860 – 960 MHz	860 – 960 MHz
Jarak Baca	6 – 8 meter	5 – 6 meter	Hingga 10 meter
Daya Pancar	1 – 30 dBm	Hingga 27 dBm	Hingga 32,5 dBm
Interface	RS232, RS485, TCP/IP	UART, USB	Ethernet
Tegangan Operasi	9 – 12 V	3,3 – 5 V	24 V
Suhu Operasi	-10 °C hingga 55 °C	-20 °C hingga 60 °C	-20 °C hingga 55 °C
Estimasi harga	Rp. 2.200.000	-	Rp. 4.400.000

Berdasarkan kebutuhan spesifikasi yang telah ditetapkan pada Tabel 2.1, jenis RFID reader yang sesuai untuk digunakan adalah UHF RFID Electron HW-VX6330K. Perangkat ini beroperasi pada rentang frekuensi tinggi 902–928 MHz dengan kemampuan jarak baca mencapai 6–8 meter, sehingga memungkinkan proses identifikasi barang dilakukan secara efektif meskipun dalam kondisi barang tersusun rapat atau bertumpuk.



Gambar 2.11 Electron HW-VX6330K UHF Reader RFID [174]

Selain itu, RFID reader ini dilengkapi dengan casing yang kokoh, sehingga mampu melindungi komponen internal dari pengaruh suhu ekstrem, air, dan debu yang umum ditemui pada lingkungan operasional toko. Penggunaan UHF RFID reader jenis ini diharapkan dapat mempermudah pengguna dalam melakukan proses identifikasi dan pengecekan barang yang tersimpan di gudang maupun area penjualan toko, sehingga kondisi stok yang terdata dapat sesuai dengan kondisi nyata di toko kelontong.

2.1.3.2 Spesifikasi 2 : Sistem mampu mencatat transaksi barang masuk dan barang keluar secara otomatis berdasarkan ID tag RFID dengan kapasitas pencatatan minimal ≥ 100 transaksi per hari

Tag *Radio Frequency Identification (RFID)* merupakan media identifikasi elektronik yang dipasang pada barang untuk menyimpan informasi unik yang dapat dibaca oleh *reader*. Tag ini tidak memerlukan daya internal karena umumnya mengambil energi dari medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh reader, kemudian memantulkan kembali data yang tersimpan di dalamnya. RFID tag memungkinkan pembacaan data tanpa kontak fisik dan tanpa perlu orientasi tertentu, sehingga sangat cocok untuk aplikasi manajemen stok barang yang memerlukan pembacaan cepat, otomatis, dan multi-tag. [1755]



Gambar 2.12 Label EL-UHF-TLB1 [1766]

Berdasarkan kebutuhan yang diperlukan pada spesifikasi 1, jenis tag label yang memenuhi kebutuhan adalah Tag Label EL-UHF-TLB1 yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi yang berkisar antara 860-960 MHz yang sesuai dengan UHF RFID *reader* yang memiliki frekuensi sekitar 900MHz[177]. Tag ini memiliki ukuran 125 mm x 7 mm yang minimalis sehingga efisien dan tidak memakai banyak tempat. Dengan adanya tag ini produk dapat dibedakan identitasnya, di mana setiap produk harus memiliki identitasnya masing-masing dan tidak boleh sama antar produk yang dalam hal ini produk akan dibaca melalui UHF RFID *reader*. Dengan penggunaan tag yang sesuai dengan UHF RFID yang digunakan akan menghindari dari kegagalan komunikasi dalam pembacaan tag pada RFID *reader* yang digunakan. Dengan sistem RFID ini diperlukan energi yang cukup untuk mengaktifkan sirkuit yang ada pada tag untuk dapat mengirimkan sinyal kembali ke antena pemancar[178]

2.1.3.3 Spesifikasi 3 : Sistem mampu memproses dan mengirimkan data stok ke basis data dengan waktu respons kurang dari 10 detik

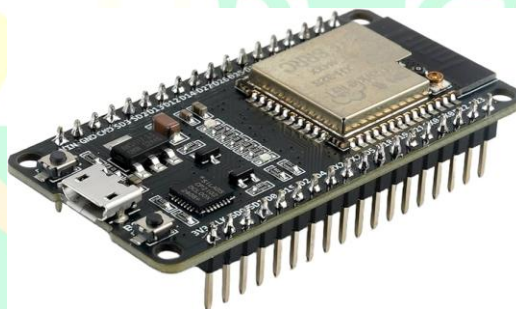
Sesuai dengan spesifikasi kebutuhan, untuk melakukan pemrosesan data menuju *database* dibutuhkan mikrokontroler yang terintegrasi dengan modul WiFi yang dilengkapi dengan memori tambahan lebih dari 500KB sehingga dapat menyimpan lebih banyak informasi data produk. Terdapat beberapa perbandingan mikrokontroler yang dapat digunakan untuk memenuhi spesifikasi kebutuhan sistem untuk mengirimkan data stok ke basis data dengan waktu respon >10 detik. [179].

Tabel 2.18 Perbandingan Spesifikasi Unit Pengolahan Data

Fitur	ESP32 [180]	ESP8266 [181]	Arduino Uno + Ethernet/Wi-Fi Shield [182]
Kecepatan pemrosesan	Tinggi (dual core, hingga 240 MHz)	Sedang (single core, hingga 80 MHz)	Rendah (16 MHz)
Waktu respons sistem	< 10 detik	Mendekati 10 detik	> 10 detik

Konektivitas jaringan	Wi-Fi terintegrasi	Wi-Fi terintegrasi	Perlu modul tambahan
Latensi pengiriman data	Rendah	Sedang	Tinggi
Kapasitas memori	Besar (RAM dan flash memadai)	Terbatas	Sangat terbatas
Tegangan operasi	3.3 V DC	3.3 V DC	5 V DC
Harga	Rp. 80.000	Rp. 50.000	Rp. 150.000

Berdasarkan perbandingan spesifikasi tersebut, ESP32 merupakan pilihan paling sesuai untuk sistem manajemen stok toko kelontong karena memiliki kecepatan pemrosesan tinggi, dukungan multitasking, serta konektivitas jaringan terintegrasi yang memungkinkan pengiriman data stok ke basis data secara real-time dengan waktu respons kurang dari 10 detik. ESP8266 masih dapat digunakan dengan keterbatasan tertentu, sedangkan Arduino Uno dengan modul tambahan kurang direkomendasikan karena keterbatasan pemrosesan dan potensi latensi yang lebih tinggi.



Gambar 2.13 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang telah terintegrasi dengan modul Wi-Fi yang bekerja pada standar IEEE 802.11 b/g/n serta memiliki kecepatan pengiriman data hingga 150 Mbps. Kemampuan tersebut memungkinkan proses pengiriman data dalam jumlah yang lebih besar, didukung dengan kapasitas memori tambahan hingga 520 KB SRAM. [10]. Data yang diperoleh dari UHF RFID reader selanjutnya dikirimkan ke basis data sehingga informasi yang tersimpan dapat ditampilkan melalui website sebagai output sistem. Selain itu, ESP32 memiliki konsumsi arus kerja yang relatif rendah, yaitu rata-rata sekitar 80 mA, sehingga

lebih efisien dalam penggunaan daya listrik. Mikrokontroler ESP32 juga bersifat open source, yang memudahkan proses pengembangan dan modifikasi perangkat sesuai kebutuhan. Dukungan berbagai library serta kemampuan pemrograman menggunakan berbagai bahasa, seperti C, C++, dan Python, turut mempermudah pengembang dalam mengakses fitur dan mengintegrasikan perangkat tambahan lainnya pada ESP32.

Untuk menjalankan ESP32 diperlukan perangkat lunak yang mampu melakukan pemrograman secara terintegrasi dengan ESP32, sehingga penggunaan Software Arduino IDE dapat menjadi solusi yang sesuai.



Gambar 2. 14 Software Arduino IDE [183]

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, serta mengunggah kode program ke papan Arduino maupun mikrokontroler lainnya. Arduino menggunakan bahasa pemrograman tersendiri yang menyerupai bahasa C, di mana bahasa pemrograman Arduino (sketch) telah dimodifikasi dari bahasa aslinya untuk memudahkan pemula dalam proses pemrograman [184].

Software Arduino IDE merupakan aplikasi bawaan dari Arduino yang digunakan untuk mengendalikan mikro single-board yang bersifat open source dan dirancang untuk meningkatkan kemudahan pengguna [184]. Salah satu keunggulan penggunaan Arduino IDE adalah tersedianya berbagai library yang mendukung pengoperasian beragam jenis mikrokontroler melalui satu perangkat lunak. Salah satunya adalah library untuk ESP32 yang digunakan dalam proses pembuatan alat pada sistem ini.

Untuk menghubungkan RFID reader dengan ESP32 diperlukan sebuah konverter. Berikut tabel perbandingan komponen :

Tabel 2.19 Perbandingan Spesifikasi Modul Converter RS232 ke TTL

Fitur	MAX3232 RS232 [185]	MAX232 RS232 [186]	SP3232 RS232 [187]
Kesesuaian dengan ESP32	Sangat sesuai	Kurang sesuai (level 5 V)	Sangat sesuai
Tegangan operasi	3.0 – 5.5 V DC	5 V DC	3.0 – 5.5 V DC
Konsumsi daya	Rendah	Sedang	Rendah
Kecepatan komunikasi	Hingga 120 kbps	Hingga 120 kbps	Hingga 250 kbps
Stabilitas komunikasi	Sangat stabil	Stabil	Sangat stabil
Harga	Rp. 25.000	Rp. 20.000	Rp. 40.000

Berdasarkan spesifikasi HW-VX6330K UHF RFID Reader yang menggunakan sistem komunikasi UART dengan antarmuka RS232, maka konverter yang sesuai untuk digunakan adalah modul converter MAX3232 RS232. Modul serial RS232 ini merupakan sebuah papan yang dilengkapi dengan Integrated Circuit (IC) transceiver MAX3232, yang memungkinkan terjadinya komunikasi serial antara port TTL dan RS232 dengan menyediakan konversi sinyal listrik yang diperlukan.



Gambar 2.15 Module Converter MAX3232 RS232 [185]

Selain itu, papan ini juga dilengkapi dengan konektor DB9 yang telah terpasang permanen pada salah satu ujungnya, serta empat pin header dengan kabel jumper pada ujung lainnya. Konfigurasi tersebut memudahkan pengguna dalam menghubungkan kabel ke papan breadboard maupun papan mikrokontroler lainnya. Keberadaan konektor DB9 juga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk menghubungkan perangkat secara langsung ke port COM pada komputer. Dengan dukungan konektor DB9 dan koneksi empat pin tersebut, konverter ini dapat digunakan untuk menghubungkan komponen HW-VX6330K UHF RFID Reader dengan komponen ESP32.

Tabel 2.20 Module Converter MAX3232 RS232

Fitur	Keterangan
<i>Speed</i>	Up to 250 kbit/s
<i>Low Power Consumption</i>	300 uA in stand-by mode
<i>Operating voltage</i>	3.3 V - 5 V
<i>Operating Current</i>	6 mA
<i>Connection pins</i>	TXD, RXD, GND, VCC
<i>Sizes</i>	33 mm x 32 mm x 14 mm

2.1.3.4 Spesifikasi 4 : Sistem memiliki antarmuka pemantauan berbasis website yang intuitif dan mudah dipahami

Antarmuka pemantauan berbasis website merupakan komponen penting dalam sistem pengelolaan persediaan stok barang di toko kelontong, karena berfungsi sebagai media bagi pengguna untuk memantau kondisi stok secara real-time, melihat riwayat transaksi barang masuk dan keluar, serta mengevaluasi perputaran barang berdasarkan metode FIFO. Antarmuka berbasis website memungkinkan pengguna mengakses sistem menggunakan perangkat umum seperti komputer atau laptop tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan, sehingga meningkatkan kemudahan penggunaan dan fleksibilitas sistem [188].

Data stok yang diperoleh dari proses pembacaan RFID disimpan secara digital ke dalam basis data, kemudian ditampilkan kembali dalam bentuk informasi yang

mudah dipahami oleh pengguna. Penyimpanan data secara digital memungkinkan sistem melakukan pencatatan jangka panjang (*data logging*), yang berguna untuk analisis stok, pemantauan tren keluar–masuk barang, serta pengambilan keputusan terkait pengelolaan persediaan [189]. Setiap data transaksi yang tersimpan mencakup informasi identitas barang, waktu transaksi (*timestamp*), jenis transaksi (barang masuk atau keluar), serta jumlah stok terkini.

Tabel 2. 21 Perbandingan Sistem Basis Data

Kriteria	Firestore Realtime Database [190]	MySQL [191]	ThingSpeak Cloud [192]
Jenis Database	Non-relasional (NoSQL)	Relasional (SQL)	Cloud IoT Platform
Model Penyimpanan	Berbasis objek/JSON	Tabel terstruktur	Data kanal sensor
Akses Data	API JSON	Query SQL	API HTTP/MQTT
Kinerja untuk Data Transaksi	Baik	Sangat baik	Cukup
Keunggulan	Sinkronisasi data cepat	Stabil, cocok untuk data stok terstruktur, mudah diintegrasikan dengan web	Mudah untuk monitoring sensor
Kelemahan	Kurang optimal untuk query kompleks	Membutuhkan server	Terbatas untuk manajemen data inventaris
Kesesuaian untuk Sistem Stok	Cukup sesuai	Sangat sesuai	Kurang sesuai

Berdasarkan hasil perbandingan pada Tabel 2.21, MySQL dipilih sebagai basis data utama karena sistem pengelolaan stok barang membutuhkan penyimpanan data yang terstruktur, konsisten, dan mendukung pengolahan transaksi dalam jumlah besar. Karakteristik tersebut menjadikan MySQL lebih sesuai dibandingkan basis data NoSQL atau platform IoT cloud yang umumnya lebih difokuskan pada data sensor sederhana.

Data stok yang tersimpan pada MySQL selanjutnya divisualisasikan melalui antarmuka website dalam bentuk tabel informasi stok, riwayat transaksi, dan status ketersediaan barang. Website dipilih karena mampu menyajikan data dalam skala besar secara terstruktur dan mudah dipahami oleh pengguna. Dashboard berbasis web juga memudahkan pengelolaan data inventaris, pencarian data barang, serta pemantauan stok secara keseluruhan tanpa memerlukan pelatihan intensif [193].

Dibandingkan dengan aplikasi mobile atau platform pesan instan, website memiliki keunggulan dalam penyajian data inventaris yang kompleks, seperti pengelompokan barang, penerapan metode FIFO, serta analisis riwayat stok. Oleh karena itu, antarmuka berbasis website dinilai paling sesuai untuk sistem manajemen persediaan pada toko kelontong.

2.1.3.5 Spesifikasi 5 : Sistem harus memberikan notifikasi audio dan visual dengan waktu respon ≤ 2 detik setelah pembacaan tag atau transaksi berhasil

Selain kemampuan sistem dalam mengidentifikasi dan memperbarui data ketersediaan stok barang secara otomatis, penyediaan notifikasi audio menjadi aspek penting dalam mendukung kejelasan proses operasional di area penyimpanan. Notifikasi audio berfungsi sebagai umpan balik langsung bagi pengguna ketika sistem berhasil menjalankan suatu proses, seperti pembacaan tag RFID, pencatatan barang masuk, atau pengurangan stok akibat transaksi keluar.

Notifikasi audio diimplementasikan menggunakan buzzer. Buzzer dipilih karena mampu menghasilkan sinyal suara sederhana yang mudah dikenali sebagai indikator keberhasilan atau perubahan status sistem. Keberadaan notifikasi audio memungkinkan pengguna untuk segera mengetahui bahwa sistem telah merespons suatu aktivitas tanpa harus melakukan pengamatan visual secara terus-menerus terhadap tampilan sistem. [194]

Buzzer diaktifkan secara otomatis setiap kali sistem menerima dan memproses data dari RFID reader. Aktivasi ini menandakan bahwa identifikasi barang telah berhasil dilakukan dan data transaksi telah dicatat ke dalam sistem. Dengan adanya umpan balik audio ini, potensi kesalahan dalam proses perhitungan stok akibat kegagalan pembacaan atau ketidaksinkronan data dapat diminimalkan sejak tahap awal.

Sistem dirancang agar notifikasi audio memiliki intensitas suara yang cukup terdengar oleh petugas toko di sekitar area penyimpanan, namun tetap berada dalam batas yang tidak mengganggu kenyamanan lingkungan operasional toko kelontong. Dengan demikian, buzzer berfungsi sebagai indikator fungsional yang efektif tanpa menimbulkan gangguan suara berlebih.

Tabel 2.22 Perbandingan Spesifikasi Notifikasi Audio

Kriteria	Buzzer aktif 5v [195]	Speaker mini [196]	Sirine mini [197]
Jenis output	Audio (bunyi beep)	Audio (suara kompleks)	Audio (suara sirine keras)
Tegangan Operasi	5V DC	5–12V DC	12–24V DC
Kompleksitas Kontrol	Sangat mudah (ON/OFF GPIO)	Perlu PWM/DAC	Perlu relay
Tingkat Kebisingan	Rendah–sedang	Sedang	Tinggi
Gangguan Lingkungan	Rendah	Sedang	Tinggi
Konsumsi Daya	Sangat rendah ($\leq 0,1$ W)	Sedang ($\pm 1-3$ W)	Tinggi (≥ 10 W)

Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel 2.22 spesifikasi teknis perangkat notifikasi audio, buzzer aktif 5V dipilih sebagai komponen notifikasi audio pada Subsistem 3. Buzzer memiliki konsumsi daya yang sangat rendah serta dapat dikendalikan secara langsung melalui pin GPIO mikrokontroler tanpa memerlukan rangkaian tambahan yang kompleks. Hal ini selaras dengan spesifikasi sistem yang menekankan efisiensi daya dan kesederhanaan integrasi perangkat.



Gambar 2.16 Buzzer aktif 5v

Dibandingkan dengan speaker mini, buzzer tidak memerlukan pengolahan sinyal audio yang kompleks maupun modul penguat tambahan. Sementara itu, penggunaan sirine mini dinilai kurang sesuai karena menghasilkan tingkat kebisingan yang tinggi dan berpotensi mengganggu kenyamanan operasional toko kelontong. Selain itu, kebutuhan tegangan yang lebih besar serta penggunaan relay tambahan menjadikan sirine kurang efisien untuk sistem tertanam berskala kecil.

Selain notifikasi audio, penyediaan notifikasi visual merupakan komponen penting dalam Subsistem 3 untuk mendukung proses perhitungan dan pemantauan ketersediaan stok barang secara langsung di area penyimpanan. Notifikasi visual berfungsi sebagai media penyampaian informasi yang lebih rinci dan informatif, sehingga pengguna dapat memahami kondisi stok serta status transaksi barang secara cepat dan akurat.

Pada sistem yang dirancang, notifikasi visual diimplementasikan menggunakan modul LCD berbasis antarmuka I2C. LCD ini digunakan untuk menampilkan informasi terkait proses identifikasi barang dan pembaruan stok, seperti nama atau kode barang, jumlah stok terkini, serta status transaksi barang masuk atau barang keluar. Informasi ditampilkan dalam bentuk teks yang ringkas agar mudah dibaca oleh pengguna tanpa memerlukan interpretasi yang kompleks.

Penggunaan LCD memungkinkan sistem memberikan umpan balik visual setelah proses pembacaan RFID dan pembaruan data stok berhasil dilakukan. Dengan adanya tampilan visual ini, pengguna dapat secara langsung melakukan verifikasi terhadap hasil pembacaan sistem, sehingga risiko kesalahan pencatatan stok dapat diminimalkan sejak tahap operasional di lapangan.

Tabel 2.23 Perbandingan Spesifikasi Perangkat Notifikasi Visual

Parameter	LCD 16x2 I2C [198]	LCD Paralel 16x2 [199]	OLED 0.96" [200]
Jenis Tampilan	Teks (karakter)	Teks (karakter)	Grafis
Antarmuka	I2C (2 pin)	Paralel (≥ 6 pin)	I2C / SPI

Keterbacaan	Baik	Baik	Sangat baik
Kemudahan Integrasi	Sangat mudah	Kurang praktis	Cukup mudah

Berdasarkan hasil perbandingan pada tabel 2.23 spesifikasi teknis perangkat notifikasi visual, LCD 16x2 berbasis I2C dipilih sebagai media tampilan pada Subsistem 3. LCD ini mampu menampilkan informasi stok secara jelas dan stabil dengan konsumsi daya yang rendah serta kebutuhan koneksi pin yang minimal. Hal ini sangat mendukung desain sistem tertanam yang mengintegrasikan beberapa perangkat dalam satu unit kendali.

Dibandingkan dengan LCD paralel, penggunaan LCD I2C secara signifikan mengurangi kompleksitas wiring dan risiko kesalahan koneksi, sehingga meningkatkan keandalan sistem dalam jangka panjang. Sementara itu, meskipun OLED menawarkan kualitas tampilan grafis yang lebih baik, kemampuan tersebut dinilai berlebihan untuk kebutuhan tampilan informasi stok yang bersifat tekstual dan sederhana. Selain itu, biaya implementasi OLED relatif lebih tinggi dibandingkan LCD I2C.



Gambar 2.17 LCD 12IC 16x2 [201]

2.2 Analisis Kebutuhan Daya

2.2.1 Analisis Kebutuhan Daya Subsistem 1

Analisis kebutuhan daya dilakukan untuk menjamin bahwa seluruh komponen pada subsistem pemantauan kehilangan dan kesalahan penempatan produk dapat beroperasi secara optimal, stabil, dan aman selama jam operasional toko kelontong modern. Subsistem ini dirancang untuk beroperasi secara kontinu sepanjang waktu

operasional harian, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan daya yang akurat agar sistem pemantauan berbasis visi komputer dapat berfungsi tanpa gangguan.

Analisis ini bertujuan untuk menentukan total konsumsi daya dari setiap komponen utama yang terlibat, meliputi unit pemrosesan utama berupa Raspberry Pi 5, perangkat kamera untuk akuisisi citra aktivitas pada rak, modul akselerasi kecerdasan buatan, perangkat peringatan visual berupa lampu strobo, serta sistem catu daya pendukung. Masing-masing komponen memiliki karakteristik konsumsi daya yang berbeda, baik pada kondisi siaga maupun saat sistem menjalankan proses intensif, seperti inferensi model deteksi aktivitas.

Melalui perhitungan kebutuhan daya setiap komponen, dapat ditentukan kapasitas sumber daya listrik yang memadai untuk mendukung operasi sistem secara berkelanjutan. Perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa suplai daya yang digunakan mampu menanggung beban sistem secara aman tanpa menimbulkan risiko kelebihan beban, penurunan tegangan, maupun ketidakstabilan arus yang berpotensi mengganggu kinerja sistem atau mempercepat degradasi perangkat keras.

Tabel 2.24 Kebutuhan Daya Komponen Subsistem 1

No	Komponen	Tegangan Operasi	Arus Operasi	Daya (Watt)	Keterangan
1	Raspberry Pi 5	5.2 V	± 2.50 A	± 13.00 W	Unit pemrosesan utama (HAR + YOLOv8)
2	AI Kit Hailo-8L	5.0 V	± 0.30 A	± 1.50 W	Akselerasi inferensi AI
3	Kamera Xiaovv Webcam Full HD	5.0 V	± 0.20 A	± 1.00 W	Input visual aktivitas rak

Subtotal Beban 5 V (Output Step-Down)		5.2 V	± 3.00 A	± 15.50 W	Beban utama sistem
4	LED Strobo LTE-1101	12 V	± 0.02 A	± 0.20 W	Aktif saat peringatan
5	UPS Mini DC 12 V	12 V	± 0.15 A	± 1.80 W	Cadangan daya sistem
6	MOSFET / Driver Strobo	12 V	± 0.02 A	± 0.24 W	Pengendali beban strobo
Subtotal Beban 12 V Langsung		12 V	± 0.19 A	± 2.24 W	Beban non-konversi
7	Step-Down Converter (12 V $\rightarrow$ 5.2 V)	12 V (input)	± 1.52 A	± 18.24 W	Efisiensi diasumsikan $\pm 85\%$
Total tarikan daya dari PSU 12V		12 V	± 1.71 A	± 20.48 W	Seluruh beban sistem
Spesifikasi PSU yang Digunakan	12 V	5 A	60 W	Margi n daya aman dan stabil	

Raspberry Pi 4 memiliki header GPIO sebanyak 40 pin, di mana 26 di antaranya dapat digunakan sebagai General Purpose Input/Output (GPIO) untuk menerima dan mengirim sinyal digital. Setiap pin GPIO bekerja pada tegangan logika 3.3 V, sehingga tidak boleh diberikan input dengan level tegangan di atas batas tersebut (misalnya 5 V), karena dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada SoC. Arus keluaran maksimum yang dianjurkan per pin adalah 16 mA, dengan batas arus total seluruh GPIO tidak melebihi 50 mA. Oleh karena itu, perangkat dengan kebutuhan arus tinggi seperti LED strobo harus dikendalikan melalui rangkaian eksternal berupa driver atau MOSFET, sehingga GPIO hanya berfungsi sebagai pemacu logika dan tidak menanggung beban daya secara langsung. Maka dari itu kita harus mempertimbangkan kebutuhan arus yang kita gunakan

a. Kebutuhan Arus Total pada Jalur 5,2 V (Keluaran Step-Down)

Komponen utama yang beroperasi pada jalur tegangan rendah sebesar 5,2 V meliputi unit pemrosesan serta perangkat input visual. Berdasarkan spesifikasi yang tercantum pada tabel, besaran kebutuhan arus untuk masing-masing komponen dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Raspberry Pi 5 (pemrosesan HAR + YOLOv8)
 $I_{RPi}=2.50A$
2. AI Kit Hailo-8L
 $I_{Hailo}=0.30A$
3. Kamera Xiaovv Webcam Full HD
 $I_{Cam}=0.20A$

Sehingga total arus pada jalur 5.2 V dapat dihitung sebagai:

$$I_{5.2V} = 2.50 + 0.30 + 0.20 = 3.00A$$

Daya keluaran pada jalur 5.2 V adalah:

$$P_{5.2Vout} = V \times I = 5.2 \times 3.00 = 15.60W (\approx 15.5W)$$

b. Kebutuhan Arus Total pada Jalur 12 V (Beban Langsung)

Beberapa komponen bekerja langsung pada jalur 12 V tanpa melalui proses konversi tegangan, yaitu:

1. LED Strobo LTE-1101

$$P_{strobo} = 0.20W \Rightarrow I = \frac{0.20}{12} \approx 0.02A$$

2. UPS Mini DC 12 V

$$P_{UPS} = 1.80W \Rightarrow I = \frac{1.80}{12} = 0.15A$$

3. MOSFET / Driver Strobo

$$P_{MOSFET} = 0.24W \Rightarrow I = \frac{0.24}{12} = 0.02$$

Total arus pada jalur 12 V langsung adalah:

$$I_{12Vdirect} = 0.02 + 0.15 + 0.02 = 0.19A$$

Total daya jalur 12 V langsung:

$$P_{12Vdirect} = 12 \times 0.19 = 2.28W (\approx 2.24W)$$

c. Perhitungan Daya Input Step-Down Converter

Modul step-down digunakan untuk menurunkan tegangan dari 12 V menjadi 5.2 V. Dengan asumsi efisiensi konversi sebesar 85%, maka daya input modul dapat dihitung sebagai:

$$P_{stepin} = \frac{P_{5.2Vout}}{\eta} = \frac{15.5}{0.85} = 18.24W$$

Arus yang ditarik dari jalur 12 V oleh modul step-down adalah:

$$I_{stepin} = \frac{18.24}{12} = 1.52A$$

d. Total Kebutuhan Daya Sistem dari PSU 12 V

Total daya sistem merupakan penjumlahan antara daya input step-down dan beban 12 V langsung:

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{stepin} + P_{12Vdirect} \\ P_{total} &= 18.24 + 2.24 = 20.48W \end{aligned}$$

Total arus yang ditarik dari adaptor 12 V adalah:

$$I_{total} = \frac{20.48}{12} = 1.71 A$$

e. Faktor Keamanan (Safety Margin)

Untuk mengantisipasi lonjakan arus awal (*inrush current*), fluktuasi beban saat inferensi AI, serta degradasi efisiensi akibat suhu dan usia komponen, digunakan faktor keamanan sebagai berikut:

1. Faktor keamanan 1.5×

$$I_{safe(1.5)} = 1.71 \times 1.5 = 2.57A$$

2. Faktor keamanan 2.0×

$$I_{safe(2.0)} = 1.71 \times 2.0 = 3.42A$$

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan daya pada Subsistem 1 yang meliputi Raspberry Pi 5 sebagai unit pemrosesan utama, AI Kit Hailo-8L sebagai akselerator inferensi, perangkat kamera sebagai masukan visual, serta perangkat peringatan dan komponen pendukung lainnya, diperoleh bahwa total konsumsi daya sistem berada pada kisaran $\pm 20,48$ W. Nilai tersebut ekuivalen dengan kebutuhan arus sekitar $\pm 1,71$ A pada jalur tegangan 12 V setelah memperhitungkan proses konversi daya melalui modul step-down.

Untuk menjamin kestabilan dan keandalan operasi sistem, diterapkan faktor keamanan (*safety margin*) guna mengantisipasi kemungkinan terjadinya lonjakan arus sesaat (*inrush current*), penurunan efisiensi konverter akibat peningkatan suhu kerja, serta potensi penambahan beban ringan pada tahap pengembangan selanjutnya. Dengan penerapan faktor keamanan hingga dua kali lipat, kebutuhan arus aman sistem berada pada rentang $\pm 3,4$ – $4,2$ A.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, adaptor DC 12 V dengan kapasitas arus 5 A (daya total 60 W) ditetapkan sebagai sumber daya utama yang paling sesuai untuk Subsistem 1. Kapasitas ini menyediakan margin daya yang mencukupi, melebihi batas faktor keamanan dua kali lipat, sehingga sistem dapat beroperasi secara kontinu selama jam operasional tanpa risiko kelebihan beban, penurunan tegangan, maupun ketidakstabilan suplai daya. Selain itu, pemilihan adaptor 12V 5A juga memberikan fleksibilitas untuk pengembangan sistem di masa mendatang, baik melalui penambahan perangkat maupun peningkatan kompleksitas pemrosesan berbasis kecerdasan buatan.

2.2.2 Analisis Kebutuhan daya Subsistem 2

Analisis kebutuhan daya dilakukan untuk menjamin bahwa seluruh komponen pada subsistem inventaris dan pemindaian produk dapat beroperasi secara optimal, stabil, dan aman. Subsistem ini melibatkan pemrosesan citra (OCR) yang cukup intensif, sehingga perhitungan daya yang akurat diperlukan untuk mencegah *undervoltage* yang dapat menyebabkan *throttling* pada CPU atau kegagalan fungsi kamera.

Komponen utama pada subsistem ini meliputi unit pemrosesan Raspberry Pi 4B, modul kamera untuk akuisisi citra (Camera Module 3), serta antarmuka visual berupa Layar TFT Touchscreen 3.5".

Tabel berikut merincikan estimasi konsumsi daya masing-masing komponen pada tegangan operasional 5 V:

Tabel 2.25 Kebutuhan Daya Komponen Subsistem 2

No	Komponen	Tegangan Operasi	Arus Operasi (Estimasi)	Daya (Watt)	Keterangan
1	Raspberry Pi 4B	5.0 V	±1.50 A	±7.50 W	Pemrosesan OCR & Barcode (High Load)
2	Raspberry Pi Camera Module 3	5.0 V	±0.25 A	±1.25 W	Streaming & Capture (via CSI)
3	LCD TFT Touchscreen 3.5"	5.0 V	±0.15 A	±0.75 W	Display & Backlight (via GPIO)
TOTAL			±1.90 A	±9.50 W	Beban Puncak

a. Analisis Kebutuhan Arus dan Daya Total

Berdasarkan spesifikasi komponen (Raspberry Pi 4B, Kamera, dan LCD) yang beroperasi pada tegangan sistem 5V, berikut adalah kalkulasi beban total.

$$I_{total} \approx 1.90 \text{ A (pada tegangan 5.0 V)}$$

Total daya yang dikonsumsi sistem adalah:

$$P_{total} = V \times I = 5.0 \text{ V} \times 1.90 \text{ A} = 9.50 \text{ Watt}$$

b. Perhitungan Kebutuhan Energi

Sistem dirancang sebagai perangkat portabel (handheld) yang digunakan secara intermittent (hanya saat pemindaian barang). Mengingat konsumsi daya yang cukup tinggi (9.50 W), sumber daya harus mampu menangani lonjakan arus tanpa mengalami voltage drop yang signifikan. Untuk memastikan alat dapat beroperasi secara layak dalam satu sesi kerja (misalnya: target durasi operasional minimum sekitar 40 menit sebelum penggantian/pengecasan daya), maka energi efektif yang dibutuhkan adalah:

$$E_{sistem} = P_{total} \times t_{target}$$
$$E_{sistem} = 9.50 \text{ W} \times 0.67 \text{ Jam} \approx 6.36 \text{ Wh}$$

Namun, perhitungan ini harus memasukkan faktor inefisiensi konversi regulator tegangan (Step-Up DC-DC) sebesar $\pm 15\%$ dan Safety Margin sebesar 30% (untuk mencegah deep discharge dan kompensasi degradasi). Maka, Energi Sumber Minimum (E_{sumber_min}) yang harus tersedia pada baterai adalah:

$$E_{sumber_min} = \frac{E_{sistem}}{\text{Efisiensi} \times (1 - \text{Safety Margin})}$$
$$E_{sumber_min} = \frac{6.36 \text{ Wh}}{0.85 \times 0.70} \approx 10.69 \text{ Wh}$$

c. Penentuan Spesifikasi Baterai

Berdasarkan perhitungan E_{sumber_min} sebesar $\sim 10.69 \text{ Wh}$, maka dipilih jenis baterai yang memiliki densitas energi tinggi namun tetap ringkas. Opsi yang memenuhi kriteria tersebut adalah baterai Lithium-Ion tipe 18650 dengan tegangan nominal 3.7V. Kapasitas arus (Ah) yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_{baterai} = \frac{E_{sumber_min}}{V_{nominal}} = \frac{10.69 \text{ Wh}}{3.7 \text{ V}} \approx 2.89 \text{ Ah}$$
$$C_{baterai} \approx 2890 \text{ mAh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, sistem ini menetapkan penggunaan baterai Li-Ion 18650 dengan kapasitas 3.000 mAh. Kapasitas 3.000 mAh dipilih karena

nilainya berada di atas ambang batas kebutuhan minimum (2.890 mAh), sehingga aman digunakan untuk operasional selama ± 40 menit

2.2.3 Analisis Konsumsi Daya Subsistem 3

Analisis kebutuhan daya dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen pada sistem pengelolaan dan pemantauan stok barang berbasis RFID dapat beroperasi secara optimal, stabil, dan aman selama jam operasional toko atau gudang. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara kontinu dalam mendukung proses pencatatan, pembaruan, dan pemantauan ketersediaan stok barang secara real-time, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan daya yang tepat agar sistem dapat berfungsi tanpa gangguan.

Analisis ini bertujuan untuk menentukan total konsumsi daya dari setiap komponen utama yang digunakan dalam sistem stok barang, meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama, UHF RFID reader sebagai perangkat pembaca data tag barang, modul konverter MAX3232 sebagai penghubung komunikasi data, LCD sebagai media penampil informasi stok, serta buzzer sebagai indikator notifikasi sistem. Setiap komponen memiliki karakteristik konsumsi daya yang berbeda, baik pada kondisi siaga maupun saat sistem melakukan proses pembacaan dan pengolahan data stok.

Melalui perhitungan kebutuhan daya masing-masing komponen, dapat ditentukan kapasitas sumber daya listrik yang sesuai untuk mendukung operasional sistem stok barang secara berkelanjutan. Perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa suplai daya yang digunakan mampu menopang seluruh beban sistem secara aman, menghindari terjadinya penurunan tegangan, ketidakstabilan arus, maupun risiko kerusakan perangkat keras yang dapat mempengaruhi keandalan dan akurasi pengelolaan stok barang.

Tabel 2.26 Spesifikasi Kelistrikan Komponen

Komponen	Tegangan	Arus	Daya
UHF RFID Reader	5 V	0.50 A	2.5 W

ESP32	5 V	0.26 A	1.3 W
LCD 16x2 I2C	5 V	0.002 A	0.01 W
Buzzer Aktif	5 V	0.03 A	0.15 W
Modul Regulator DC-DC	5 V	0.02 A	0.1 W
Catu Daya (Adaptor)	12 V	1 A	12 W

Berdasarkan tabel 2.26, terdapat dua rail yang perlu diperhitungkan penggunaan dayanya, yaitu rail 12 V dan rail 5 V

A. Rail 12 V

Total Arus = 0.65 A

Tegangan = 12 V

Daya Keseluruhan = $12 \text{ V} * 0.65 = 7.8 \text{ W}$

Dengan mempertimbangkan adanya lonjakan beban dan kendala lainnya dibutuhkan margin keamanan sebesar 30%, maka dapat dijabarkan sebagai berikut

Margin 30% pada arus $\rightarrow 0.845 \text{ A}$

Margin 30% pada daya $\rightarrow 10.14 \text{ W}$

Berdasarkan perhitungan ini, Rail 12 V memerlukan setidaknya arus 0.845 W dengan daya 10.14 W untuk dapat beroperasi dengan optimal

B. Rail 5 V

Total Arus = $0.26 \text{ A} + 0.002 \text{ A} + 0.03 \text{ A} + 0.02 \text{ A} = 0.312 \text{ A}$

Tegangan = 5 V

Daya Keseluruhan = $5 \text{ V} * 0.312 \text{ A} = 1.56 \text{ W}$

Dengan mempertimbangkan adanya lonjakan beban dan kendala lainnya dibutuhkan margin keamanan sebesar 30%, maka dapat dijabarkan sebagai berikut

Margin 30% pada arus $\rightarrow 0.4056 \text{ A}$

Margin 30% pada daya $\rightarrow 2.028 \text{ W}$

Berdasarkan perhitungan ini, Rail 5 V memerlukan setidaknya arus 0.4056 A dengan daya 2.028 W untuk dapat beroperasi dengan optimal

Berdasarkan kebutuhan ini, dapat disimpulkan catu daya yang diperlukan sebagai sumber daya utama harus memiliki tegangan 12 V dengan arus setidaknya 1 A. Dengan catu daya ini, rail 12 V dapat langsung terhubung dan terpenuhi kebutuhan dayanya, sementara pada rail 5 V, tegangan akan diregulasi menggunakan modul regulator DC-DC terlebih dahulu. Berdasarkan kebutuhan ini, digunakan *Adaptor* 12 V 1 A dengan spesifikasi dijelaskan pada Tabel 2.x berikut.

Tabel 2.27 Spesifikasi Adaptor 12 V 1 A

Spesifikasi	
Tegangan Output	12 V
Arus	1 A
Daya Maksimal	12 W
Koneksi	Jack DC 5.5 mm
Harga	Rp. 25.000



Gambar 2.18 Adapter 12 V 1 A

2.3 Verifikasi

2.3.1 Verifikasi Subsistem 1

Verifikasi sistem diperlukan untuk memastikan bahwa spesifikasi subsistem pemantauan kehilangan dan kesalahan penempatan produk dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Proses verifikasi dilakukan pada setiap spesifikasi dengan beberapa prosedur yang dijelaskan pada tabel 2.28 berikut

Tabel 2.28 Verifikasi Sistem Subsistem 1

No	Parameter Verifikasi	Spesifikasi Teknis	Prosedur Pengujian	Metode Pengukuran dan Kriteria Kelulusan
1	Deteksi Posisi dan pergerakan	Xiaovv Webcam Full HD 1080p	Penguji melakukan simulasi kehilangan dan kesalahan penempatan barang pada rak yang dipantau oleh dua kamera dari sudut berbeda. Pengujian dilakukan berulang kali dengan	Menghitung jumlah deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan barang yang benar dibandingkan dengan total skenario pengujian. Sistem dinyatakan lulus apabila tingkat

			skenario: mengambil barang dari rak, memindahkan barang ke rak yang salah, dan mengembalikan barang ke posisi semula.	keberhasilan deteksi $\geq 85\%$. Kondisi lulus mencakup: barang diambil (terdeteksi), barang dipindahkan ke rak lain (terdeteksi), barang dikembalikan ke posisi awal (status normal).
2	Identifikasi Objek	Raspberry Pi 5 + AI KIT Hailo dan YoloV8	Penguji menempatkan beberapa jenis barang pada rak sesuai dan tidak sesuai dengan posisi seharusnya. Pengujian dilakukan berulang dengan variasi posisi, orientasi, dan kondisi pencahayaan.	Mengukur <i>confidence score</i> dan ketepatan klasifikasi barang sesuai dan tidak sesuai rak. Lulus apabila tingkat akurasi deteksi $\geq 80\%$ dan <i>confidence score</i> minimum 0,80 pada setiap skenario pengujian.
3	Warning Alert dan Notifikasi real-time	LED Strobo LTE1101 dan Flask + MQTT + Flutter	Penguji mensimulasikan kondisi kehilangan barang dan kesalahan penempatan barang yang telah terdeteksi	Mengukur keberhasilan aktivasi LED strobo dan penerimaan notifikasi pada aplikasi Flutter. Sistem dinyatakan

			oleh sistem identifikasi objek. Sistem mengirimkan pesan peringatan melalui MQTT ke backend Flask, kemudian diteruskan ke aplikasi Flutter dan mengaktifkan LED strobo.	lulus apabila peringatan aktif setiap kali pelanggaran terdeteksi dengan waktu tunda notifikasi ≤ 2 detik dan tanpa kegagalan pengiriman pesan.
4	Data Logging	PostgreSQL terpusat	.Sistem dijalankan untuk mencatat setiap kejadian deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Data yang tersimpan meliputi waktu kejadian, jenis objek, status pelanggaran, dan referensi gambar.	Pemeriksaan kelengkapan dan konsistensi data hasil deteksi pada database PostgreSQL. Lulus apabila seluruh kejadian tercatat secara akurat, berurutan, dan tanpa kehilangan atau duplikasi data.
5	Kapasitas Suplai Daya (10-12 Jam)	Adaptor 12V 5A dan Suplai cadangan UPS Mini DC 12V	Sistem dijalankan secara kontinu selama 10-12 jam dalam kondisi operasional normal	Pemantauan tegangan, suhu, dan stabilitas sistem. Lulus apabila sistem bekerja tanpa restart, drop tegangan, atau kegagalan fungsi.

2.3.2 Verifikasi Subsistem 2

Verifikasi sistem diperlukan untuk memastikan bahwa spesifikasi subsistem Inventasi Produk Kedaluwarsa dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Proses verifikasi dilakukan pada setiap spesifikasi dengan beberapa prosedur yang dijelaskan pada tabel 2.

Tabel 2.29 Verifikasi Sistem Subsistem 2

No	Parameter Verifikasi	Spesifikasi Teknis	Prosedur Pengujian	Metode Pengukuran dan Kriteria Kelulusan
1	Akuisisi citra produk	Raspi Cam Module 3	Penguji menempatkan sampel produk dengan <i>barcode</i> dan teks kedaluwarsa (ukuran font < 12pt) pada jarak uji bertahap: 8 cm, 15 cm, dan 30 cm. Pengambilan citra dilakukan pada setiap jarak.	Mengukur kejelasan detail citra teks dan <i>barcode</i> yang ditangkap pada rentang jarak 8 cm hingga 30 cm. Sistem dinyatakan lulus apabila citra objek terlihat fokus (tidak <i>blur</i>) dan dapat dikenali oleh sistem secara konsisten pada seluruh variasi jarak pengujian.
2.	Pemrosesan Komputasi	Raspberry Pi 4b + ZBar + YOLO + Tesseract	Penguji melakukan pemindaian (<i>scanning</i>) sebanyak 10 kali berturut-turut pada produk yang	Menghitung rata-rata waktu pemrosesan algoritma OCR dan <i>barcode decoding</i> per <i>scan</i> . Lulus

			berbeda. Waktu dihitung menggunakan <i>stopwatch</i> atau <i>log</i> sistem mulai dari tombol ditekan hingga hasil keluar.	apabila durasi pemrosesan < 5 detik untuk setiap kali pemindaian dan hasil data yang ditampilkan sesuai dengan objek fisik.
3.	Interaksi Visual & Navigasi	LCD TFT 3.5 Inch Touchscreen	Sistem dioperasikan menggunakan TFT 3,5” touchscreen pada kondisi pencahayaan dalam ruangan 300–500 lux (diukur dengan lux meter). Pengujian dilakukan dengan menampilkan viewfinder kamera dan hasil pemindaian barcode serta tanggal kedaluwarsa secara real-time.	Pengukuran dilakukan melalui observasi keterbacaan tampilan dan kelancaran viewfinder pada pencahayaan 300 - 500 lux. Sistem dinyatakan lulus apabila tampilan kamera stabil dan teks hasil pemindaian terbaca jelas oleh pengguna tanpa gangguan visual.

2.3.3 Verifikasi Subsistem 3

Verifikasi sistem diperlukan untuk memastikan bahwa spesifikasi subsistem Manajemen Ketersediaan Stok Barang dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Proses verifikasi dilakukan pada setiap spesifikasi dengan beberapa prosedur yang dijelaskan pada tabel 3. berikut

Tabel 2.30 Verifikasi Sub Sistem 3

No	Parameter Verifikasi	Spesifikasi Teknis	Prosedur Pengujian	Metode Pengukuran dan Kriteria Kelulusan
1	Identifikasi dan pembacaan data barang	UHF RFID Reader Electron HW-VX6330K dan Tag RFID UHF	Penguji menempatkan beberapa barang yang telah dilengkapi tag RFID pada rak penyimpanan dengan variasi jarak baca antara 3–8 meter dan kondisi barang tersusun rapat atau bertumpuk. Proses pembacaan dilakukan secara berulang.	Menghitung jumlah tag yang berhasil terbaca dibandingkan total tag yang diuji. Sistem dinyatakan lulus apabila $\geq 95\%$ tag terbaca dengan benar pada rentang jarak 3–8 meter dan ID yang terbaca sesuai dengan data produk.
2	Pencatatan transaksi barang masuk dan keluar	UHF RFID Reader dan ESP32	enguji melakukan simulasi transaksi barang masuk dan barang keluar secara berulang dengan jumlah minimal 100 transaksi per hari berdasarkan pembacaan ID tag	Memeriksa kesesuaian jumlah transaksi yang tercatat pada sistem dengan jumlah transaksi aktual. Sistem dinyatakan lulus apabila seluruh transaksi tercatat otomatis tanpa

			RFID.	kehilangan atau duplikasi data.
3	Pembaruan data stok ke basis data	ESP32 dan koneksi WiFi	Penguji mengukur waktu sejak proses pembacaan tag RFID hingga data stok tersimpan di database dan ditampilkan pada website. Pengujian dilakukan pada beberapa transaksi berturut-turut.	Mengukur waktu respons sistem menggunakan log waktu sistem. Sistem dinyatakan lulus apabila waktu pembaruan data $\leq$ 10 detik dan data yang ditampilkan sesuai dengan kondisi stok aktual.
4	Pemantauan ketersediaan stok melalui website	ESP32 dan antarmuka website	Penguji mengakses halaman website setelah terjadi transaksi barang masuk dan keluar untuk memantau perubahan jumlah stok.	Sistem dinyatakan lulus apabila data stok pada website diperbarui secara otomatis, konsisten dengan data di database, dan dapat ditampilkan tanpa kesalahan.
5.	Dapat memberikan notifikasi secara audio dan visual	Buzzer dan LCD I2C	Melakukan pengujian terhadap fungsi notifikasi audio dan visual dengan cara menjalankan proses	Dengan memperhatikan respon sistem setelah proses pembacaan RFID, buzzer harus aktif

			pembacaan tag RFID pada barang masuk dan barang keluar. Pengujian dilakukan dengan mengamati respon buzzer sebagai indikator audio serta tampilan informasi pada LCD I2C sebagai indikator visual setelah sistem memproses data transaksi stok.	sebagai tanda bahwa transaksi berhasil diproses, sementara LCD I2C harus menampilkan informasi stok dan status transaksi secara benar dengan waktu respon <2 detik. Keberhasilan verifikasi ditandai dengan sinkronisasi antara bunyi buzzer dan tampilan LCD yang sesuai dengan kondisi stok aktual, sehingga pengguna dapat dengan mudah memastikan hasil perhitungan stok secara langsung tanpa perlu pengecekan tambahan
--	--	--	--	--

2.4 Perencanaan Pasar

2.4.1 Perkiraan Biaya

Untuk mengimplementasikan solusi yang diharapkan, diperlukan sejumlah komponen guna merancang dan menyempurnakan sistem. Berikut adalah estimasi biaya yang diperlukan untuk pembuatan dan pengembangan sistem.

2.4.1.1 Perkiraan Biaya Subsistem 1

1. Product Cost

Product Cost atau biaya produk adalah biaya yang diperlukan untuk pembuatan, produksi, atau manufaktur sistem dari solusi produk yang diusulkan. Dalam menentukan apakah harga jual sudah tepat, perlu dipertimbangkan biaya produksi agar keuntungan yang diharapkan dapat tercapai. Berikut ini adalah tabel biaya produk untuk sistem yang akan dibuat.

Tabel 2.31 Product Cost Subsistem 1

No	Perangkat / Komponen	Jumlah	Harga Satuan	Estimasi Harga
1	Raspberry Pi 5 (8 GB)	1	Rp3.400.000	Rp3.400.000
2	AI Kit Raspberry Pi Hailo-8L (13 TOPS)	1	Rp1.850.000	Rp1.850.000
3	Kamera Xiaovv Webcam Full HD 1080p	1	Rp180.00	Rp180.00
4	LED Strobo LTE-1101 (12 V)	1	Rp150.000	Rp150.000
5	Modul Step-Down DC (12 V → 5.2 V, 5 A)	1	Rp35.000	Rp35.000
6	MOSFET (Driver Beban Strobo)	1	Rp15.000	Rp15.000
7	Modul Mini UPS DC 12 V	1	Rp30.000	Rp30.000
8	Adaptor DC 12 V 5 A	1	Rp120.000	Rp120.000
9	SD Card / Storage (32 GB)	1	Rp105.000	Rp105.000
10	Dudukan / Case Perangkat	1	Rp150.000	Rp120.000

Total Estimasi Biaya	Rp7.950.000
-----------------------------	--------------------

2. **Development** **Cost**

Development cost atau biaya pengembangan adalah biaya yang dikeluarkan untuk merancang, mengembangkan, dan memproduksi produk solusi yang diusulkan. Ini mencakup gaji para engineer dan biaya yang terkait dengan kebutuhan aplikasi perangkat lunak untuk alat tersebut. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan rincian biaya pengembangan dari proyek ini.

Tabel 2.32 Development Cost Subsistem 1

No	Komponen Biaya	Rincian / Penjelasan	Estimasi Biaya per Bulan	Durasi	Total Biaya (6 Bulan)
1	Biaya Pengembang an Sistem (Software Development)	Pengembangan sistem pengawasan berbasis visi komputer meliputi pipeline akuisisi citra, pra-pemrosesan, ekstraksi pose MediaPipe, klasifikasi aktivitas CNN (YOLOv8), serta integrasi modul deteksi kehilangan dan tertukar	Rp1.200.000	6 bulan	Rp7.200.000
2	Pengembang an Firmware & Integrasi Hardware	Konfigurasi Raspberry Pi 5, integrasi kamera USB, AI Kit Hailo-8L, pengendalian LED strobo, optimasi inferensi real-time, serta debugging dan tuning sistem	Rp650.000	6 bulan	Rp3.900.000

3	Pengembang an Backend & Website Dashboard	Pengembangan backend berbasis Flask, REST API, database PostgreSQL (logging data & gambar), serta dashboard web untuk monitoring aktivitas, histori kejadian, dan visualisasi hasil deteksi	Rp700.000	6 bulan	Rp4.200.000
4	Biaya Infrastruktur Server Lokal / Hosting Ringan	Server lokal (Raspberry Pi sebagai edge server) atau hosting VPS entry-level untuk pengujian dan deployment website dashboard	Rp150.000	6 bulan	Rp900.000
5	Testing & Quality Assurance	Pengujian akurasi sistem (target $\geq 80\%$), validasi skenario kehilangan & tertukar, uji kestabilan 8–9 jam operasional, serta evaluasi performa sistem secara menyeluruh	Rp300.000	6 bulan	Rp1.800.000
Total Development Cost (6 Bulan)					Rp18.000.000

2.4.1.2 Perkiraan Biaya Subsistem 2

1. Product Cost

Tabel 2.33 Product Cost Subsistem 2

No.	Perangkat	Jumlah	Harga Satuan	Estimasi Harga
1	Raspberry Pi 4 Model B (RAM 4GB)	1	Rp1.350.000	Rp1.350.000

2	Raspberry Pi Camera Module 3	1	Rp650.000	Rp650.000
3	18650 Lithium Battery Shield V3 1 Slot	1	Rp35.000	Rp35.000
4	Baterai Lithium-Ion 18650 (3400mAh)	1	Rp65.000	Rp65.000
5	3.5 inch TFT Resistive Touchscreen	1	Rp350.000	Rp350.000
6	Kabel Jumper (Set)	1	Rp25.000	Rp25.000
7	MicroSD Card 64GB Class 10	1	Rp120.000	Rp120.000
8	Casing 3D Print & Baut	1	Rp100.000	Rp100.000
Total				Rp2.695.000

2. Development Cost

Development Cost merupakan biaya yang dibutuhkan dalam mengembangkan dan merancang suatu sistem produk, seperti anggaran untuk pemeliharaan dan pengembangan, biaya pengujian, serta jasa pembuatan alat. Berikut rincian dari *development cost* dapat dilihat pada tabel 2.34

Tabel 2.34 Development Cost Subsistem 2

No	Jenis	Estimasi Harga
1.	Jasa Pembuatan Alat	Rp. 500.000
2.	Biaya Pengujian	Rp. 250.000
3.	Biaya Pemeliharaan	Rp. 250.000
Total		Rp. 1.000.000

Berdasarkan kedua tabel di atas dapat dilihat total biaya *product cost* mencapai Rp.2.695.000 yang mana biaya ini merupakan biaya untuk komponen yang akan digunakan dan untuk biaya *development cost* mencapai Rp. 1.000.000 yang mana biaya ini merupakan biaya pengembangan yang akan digunakan. Sehingga total dari kedua biaya ini mencapai Rp. 3.695.000 yang mana total biaya ini memenuhi biaya maksimal yakni Rp. 8.000.000

2.4.1.3 Perkiraan Biaya Subsistem 3

1. Product Cost

Tabel 2.35 Product Cost Subsistem 3

No	Perangkat	Jumlah	Harga Satuan	Estimasi Harga
1.	UHF RFID <i>Electron</i> HW-VX6330K	1	Rp. 2.200.000	Rp. 2.200.000
2.	RFID Label EL-UHF-TLB1	20	Rp. 2.000	Rp. 40.000
3.	LCD <i>Display</i> 16x2	1	Rp. 15.000	Rp. 15.000
4.	ESP32	1	Rp. 75.000	Rp. 75.000
5.	<i>Module Converter</i> MAX3232 RS232	1	Rp. 20.000	Rp. 20.000
6.	Buzzer Aktif 5v	1	Rp. 3.000	Rp. 3.000
Total				Rp. 2.353.000

2. Development Cost

Development Cost merupakan biaya yang dibutuhkan dalam mengembangkan dan merancang suatu sistem produk, seperti anggaran untuk pemeliharaan dan pengembangan, biaya pengujian, serta jasa pembuatan alat. Berikut rincian dari *development cost* dapat dilihat pada tabel 2.36.

Tabel 2.36 Development Cost

No	Jenis	Jumlah	Harga Satuan	Estimasi Harga
1.	Pemeliharaan dan pengembangan	1	Rp. 1.000.000	Rp. 1.000.000
2.	Jasa pembuatan alat	1	Rp. 100.000	Rp. 100.000

3.	Pengujian dan Validasi	1	Rp. 150.000	Rp. 150.000
Total				Rp. 1.250.000

Berdasarkan kedua tabel di atas dapat dilihat total biaya *product cost* mencapai Rp.2.353.000 yang mana biaya ini merupakan biaya untuk komponen yang akan digunakan dan untuk biaya *development cost* mencapai Rp. 1.250.000 yang mana biaya ini merupakan biaya pengembangan yang akan digunakan. Sehingga total dari kedua biaya ini mencapai Rp. 3.603.000 yang mana total biaya ini memenuhi biaya maksimal yakni Rp. 5.000.000.

2.4.2 Analisis Finansial

2.4.2.1 Analisis SWOT

2.4.2.1.1 Analisis SWOT Subsistem 1

1. Strength (Kekuatan)

- a. Sistem menerapkan pendekatan *Human Activity Recognition (HAR)* yang memungkinkan pemahaman aktivitas manusia secara kontekstual. Dengan demikian, sistem mampu membedakan aktivitas normal, kehilangan barang, serta kesalahan penempatan berdasarkan pola pergerakan manusia, bukan sekadar keberadaan objek.
- b. Pemanfaatan MediaPipe untuk ekstraksi pose manusia meningkatkan kemampuan sistem dalam menganalisis interaksi pengguna dengan rak, sehingga interpretasi perilaku menjadi lebih mendalam dibandingkan metode konvensional berbasis deteksi objek.
- c. Kombinasi Raspberry Pi 5 dan AI Kit Hailo-8L mendukung proses inferensi berbasis *edge computing*, memungkinkan sistem beroperasi secara real-time dengan latensi rendah tanpa ketergantungan signifikan pada komputasi cloud.
- d. Sistem dilengkapi fitur peringatan (*alert*) serta pencatatan data terpusat yang terintegrasi dengan dashboard berbasis web, sehingga aktivitas abnormal dapat dimonitor, direkam, dan ditelusuri kembali sebagai bukti digital yang valid.

2. Weakness (Kelemahan)

- a. Kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh kualitas data visual, seperti kondisi pencahayaan, sudut kamera, dan tingkat kepadatan area rak. Kondisi visual yang kurang optimal dapat menurunkan akurasi ekstraksi pose maupun klasifikasi aktivitas.
- b. Pelatihan model CNN membutuhkan dataset aktivitas manusia yang beragam dan representatif. Keterbatasan variasi data pada tahap awal dapat menghambat kemampuan model dalam melakukan generalisasi terhadap skenario baru.
- c. Proses instalasi dan konfigurasi awal relatif kompleks, meliputi penentuan area pengawasan, kalibrasi kamera, serta penyesuaian parameter model, sehingga memerlukan pengguna dengan pemahaman teknis dasar.
- d. Ketergantungan pada koneksi jaringan untuk sinkronisasi data ke dashboard berpotensi menimbulkan keterlambatan pembaruan informasi apabila terjadi gangguan jaringan.

3. Opportunity (Peluang)

- a. Tingginya kebutuhan toko kelontong, minimarket, dan UMKM ritel terhadap sistem pemantauan stok yang cerdas dan terjangkau membuka peluang besar bagi penerapan sistem ini sebagai alternatif dari solusi berbasis RFID atau sensor fisik yang lebih mahal.
- b. Sistem berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi dengan subsistem tambahan, seperti deteksi kedaluwarsa berbasis OCR, analisis kepadatan rak, maupun integrasi dengan sistem manajemen inventori digital.
- c. Pendekatan pembelajaran mesin memungkinkan peningkatan performa sistem secara berkelanjutan melalui proses *retraining* seiring bertambahnya data aktivitas dari lingkungan nyata.
- d. Fleksibilitas sistem berbasis kamera memungkinkan penerapan pada berbagai konfigurasi rak tanpa memerlukan perubahan fisik pada produk, sehingga mudah diadaptasi pada lingkungan toko yang dinamis.

4. Threat (Ancaman)

- a. Pesatnya perkembangan teknologi kecerdasan buatan dan perangkat komputasi berpotensi membuat perangkat maupun model yang digunakan menjadi usang, sehingga diperlukan pembaruan perangkat lunak atau perangkat keras di masa depan.
- b. Kehadiran solusi komersial dengan integrasi lebih matang atau harga yang lebih kompetitif dapat menurunkan daya saing sistem apabila tidak diimbangi dengan peningkatan fitur dan keandalan.
- c. Risiko keamanan dan privasi data visual menjadi ancaman apabila sistem tidak dilengkapi kebijakan pengelolaan data serta mekanisme perlindungan yang memadai.
- d. Perubahan signifikan pada tata letak rak atau pola operasional toko dapat memengaruhi kinerja sistem, sehingga diperlukan proses adaptasi dan kalibrasi ulang agar performa tetap optimal.

2.4.2.1.2 Analisis SWOT Subsistem 2

1. Strengths (Kekuatan)

Faktor internal yang menjadi keunggulan kompetitif sistem dibandingkan metode konvensional atau produk sejenis:

1. Integrasi Fitur Ganda: Sistem mampu melakukan dua fungsi sekaligus dalam satu *workflow*: identifikasi produk (via *barcode*) dan verifikasi kelayakan (via tanggal kedaluwarsa), yang jarang ditemukan pada pemindai kasir standar.
2. Peningkatan Kualitas Optik: Penggunaan Raspberry Pi Camera Module 3 yang dilengkapi fitur *Autofocus* (AF) memberikan keunggulan signifikan dalam menangkap citra teks tanggal berukuran kecil pada jarak dekat (makro), mengatasi keterbatasan kamera *fixed-focus* generasi sebelumnya.
3. Fleksibilitas Deteksi Lokasi: Penggunaan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) memungkinkan sistem mendeteksi letak tanggal di berbagai posisi acak pada kemasan, tidak terbatas pada area spesifik seperti pada sistem berbasis sensor statis.
4. Portabilitas: Desain berbasis *Single Board Computer* (Raspberry Pi 4) dan baterai 18650 memungkinkan alat beroperasi secara *portable*

(genggam/mobile) di area gudang tanpa ketergantungan sumber listrik dinding terus-menerus.

2. Weaknesses (Kelemahan)

Faktor internal yang menjadi kendala atau kekurangan teknis yang perlu dimitigasi:

1. Ketergantungan pada Kondisi Cahaya: Metode OCR (*Optical Character Recognition*) dengan Tesseract dan deteksi *barcode* optik sangat sensitif terhadap pencahayaan. Kondisi minim cahaya (*low light*) atau pantulan cahaya (*glare*) pada kemasan plastik dapat menurunkan akurasi pembacaan secara drastis.
2. Latensi Komputasi: Menjalankan model *Deep Learning* (YOLO) dan mesin OCR (Tesseract) secara bersamaan pada prosesor ARM (Raspberry Pi) membutuhkan sumber daya komputasi tinggi, yang berpotensi menyebabkan jeda (*delay*) beberapa detik antara pemindaian dan hasil output.
3. Keterbatasan Variasi Format Teks: Tesseract memiliki keterbatasan dalam membaca *font* tanggal yang tidak standar (misal: *dot matrix* yang putus-putus) atau teks yang terdistorsi akibat kemasan yang lecek/melengkung.

3. Opportunities (Peluang)

Faktor eksternal yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan lebih lanjut atau potensi pasar:

1. Kebutuhan Manajemen Stok Retail: Meningkatnya kesadaran akan efisiensi manajemen inventaris di ritel (minimarket/supermarket) menciptakan permintaan alat yang bisa mempercepat penyortiran barang kedaluwarsa (FEFO - *First Expired First Out*).
2. Isu Keamanan Pangan (*Food Safety*): Regulasi pemerintah yang ketat mengenai peredaran makanan layak konsumsi meningkatkan urgensi alat verifikasi tanggal kedaluwarsa otomatis untuk mencegah *human error*.
3. Skalabilitas Model: Model YOLO yang dilatih dapat terus diperbarui (*re-training*) dengan dataset baru untuk mengenali jenis kemasan produk yang lebih beragam di masa depan tanpa mengganti perangkat keras.

4. Threats (Ancaman)

Faktor eksternal yang dapat menghambat keberhasilan atau adopsi sistem:

1. Variabilitas Kemasan Produk: Produsen seringkali mencetak tanggal kedaluwarsa dengan warna tinta yang kontrasnya rendah terhadap latar belakang kemasan, atau posisi cetak yang menumpuk dengan desain grafis lain, menyulitkan segmentasi oleh AI.
2. Substitusi Teknologi Smartphone: Kemampuan kamera *smartphone* modern yang semakin canggih beserta aplikasi gratis yang serupa menjadi pesaing utama dari segi biaya (*cost-efficiency*) dibandingkan membuat perangkat keras khusus (Dedikasi Alat).
3. Kerusakan Fisik Label: *Barcode* atau teks tanggal yang tergores, pudar, atau sobek selama distribusi logistik tidak dapat dibaca oleh sistem, yang tetap memerlukan intervensi manual manusia.

2.4.2.1.3 Analisis SWOT Subsistem 3

1. Kekuatan (*Strengths*)

- a. Akurasi tinggi, sistem ini memanfaatkan teknologi RFID dengan penerapan metode *First In First Out* (FIFO) sehingga mampu meningkatkan tingkat akurasi dalam pengelolaan stok barang. Penggunaan frekuensi tinggi memungkinkan proses pembacaan data dilakukan secara tepat meskipun barang berada dalam kondisi bertumpuk.
- b. Potensi pasar, terdapat peluang pasar yang cukup besar dari berbagai jenis toko, seperti pedagang PND, toko ritel, dan toko eceran. Hal ini dapat dilihat dari keberadaan pedagang PND di kawasan Inpres II Pasar Raya Padang yang berjumlah lebih dari 10 toko, yang berpotensi memanfaatkan sistem ini untuk membantu pengelolaan persediaan barang di gudang toko, demikian pula dengan gudang milik pedagang ritel dan eceran lainnya.

2. Kelemahan (*Weaknesses*)

- a. Kompetitor, terdapat banyak kompetitor yang telah menyediakan solusi pengelolaan persediaan barang, meskipun menggunakan teknologi yang berbeda.

Oleh karena itu, sistem yang dirancang perlu menonjolkan keunggulan khusus agar mampu bersaing dengan solusi yang telah ada.

b. Sensitivitas alat, sistem ini berpotensi sensitif terhadap kondisi lingkungan tertentu, seperti suhu yang terlalu tinggi atau rendah serta keberadaan benda logam di sekitar perangkat, yang dapat memengaruhi kinerja pembacaan RFID.

3. Peluang (*Opportunities*)

a. Peningkatan kualitas layanan, dengan sistem pengelolaan stok yang lebih terstruktur dan akurat, toko dapat meningkatkan kepuasan pelanggan karena ketersediaan barang dapat terjaga sesuai kebutuhan. Peningkatan kualitas layanan ini berpotensi mendorong peningkatan penjualan dan kenyamanan konsumen dalam berbelanja.

b. Efisiensi pengelolaan stok barang, sistem ini memungkinkan proses pengelolaan stok dilakukan secara lebih efisien dan cepat, mengurangi risiko kesalahan manusia, serta meningkatkan keakuratan data persediaan. Dengan demikian, toko-toko, termasuk pedagang di Inpres II Pasar Raya Padang, dapat meningkatkan efisiensi operasional dan daya saing usaha.

4. Ancaman (*Threats*)

a. Perkembangan teknologi, pesatnya perkembangan teknologi dapat menyebabkan sistem menjadi kurang relevan apabila tidak diikuti dengan inovasi dan pembaruan secara berkelanjutan.

b. Ketergantungan terhadap teknologi, ketergantungan pada sistem teknologi menjadi ancaman apabila terjadi gangguan teknis atau kegagalan sistem, yang berpotensi menghentikan operasional toko sementara waktu dan menimbulkan kerugian.

2.4.2.2 Analisis Kelayakan Finansial

Untuk menilai keuntungan atau risiko dari produk yang akan dikembangkan, dilakukan analisis kelayakan finansial atau pemasaran. Dalam analisis ini, perlu ditentukan terlebih dahulu proyeksi penjualan, biaya total, dan ROI (Return on

Investment) dalam kisaran 10-25%. Berikut analisis kelayakan finansial dari proyek ini.

2.4.2.2.1 Analisis Kelayakan Finansial Subsistem 1

1. Return On Investment (ROI)

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai ROI dari proyek ini

$$ROI = \frac{(Total\ Penjualan - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\ %$$

Diketahui :

a. Proyeksi Penjualan = 50 unit/tahun

b. Total biaya = (Product Cost x jumlah unit) + Development cost = (Rp 7.950.000 x 50) + Rp 18.000.000 = Rp 415.500.000

c. ROI = 25%

Dari rumus ROI diatas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Investasi = (Product Cost x jumlah unit) + Development cost = (Rp 7.950.000 x 50) + Rp 18.000.000 = Rp 415.500.000

$$ROI = \frac{(Total\ Penjualan - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\ %$$

$$0,25 = \frac{(50p - 415.500.000)}{415.500.000}$$

$$0,25 \times 415.500.000 = 50p - 415.500.000$$

$$103.875.000 = 50p - 415.500.000$$

$$50p = 519.375.000$$

$$p = \frac{519.375.000}{50}$$

$$p = Rp\ 10.387.500$$

Maka harga jual untuk 1 unit sistem ini adalah sebesar Rp 10.387.500 atau dibulatkan menjadi Rp 10.400.000/unit

Lalu untuk keuntungan per unit yang kita dapat yaitu : Keuntungan = Harga Jual - Product Cost = Rp 10.400.000 - Rp 7.950.000 = Rp 2.450.000 / unit

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode untuk menilai proyek dengan mengukur nilai keuangannya. NPV sering digunakan dalam manajemen keuangan dan pengambilan keputusan investasi. Berikut perhitungan untuk untuk mendapatkan NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Diketahui :

- a. Pendapatan bersih per unit: Rp 10.400.000
- b. Jumlah penjualan per tahun: 50 unit
- c. Cash Flow tahunan (CF): Rp 10.400.000 × 50 = Rp 520.000.000 / tahun
- d. Arus kas (Ct) = Total penjualan – Investasi = Rp 520.000.000 - (Rp 7.950.000 × 50) + Rp 18.000.000 = Rp 140.500.000
- f. Periode analisis: 5 tahun
- g. Discount rate (r): 6% = 0.06
- h. Biaya Investasi Total (C₀) = Rp 415.500.000

maka :

$$NPV = \sum_{t=1}^5 \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$$\text{Tahun 1} = \frac{415.500.000}{1,06} = 392.924.528$$

$$\text{Tahun 2} = \frac{415.500.000}{1.06^2} = 370.683.517$$

$$\text{Tahun 3} = \frac{415.500.000}{1.06^3} = 349.702.375$$

$$\text{Tahun 4} = \frac{415.500.000}{1.06^4} = 329.907.901$$

$$\text{Tahun 5} = \frac{415.500.000}{1.06^5} = 311.233.868$$

Total Present Value (PV) : 392.924.528 + 370.683.517 + 349.702.375 + 329.907.901 + 311.233.868 = Rp 1.754.452.189

NPV = Rp 1.754.452.189 – Rp 415.500.000 = Rp 1.338.952.189

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp1.338.952.189 yang bernilai positif dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa subsistem pendeteksian kehilangan dan kesalahan penempatan produk layak secara finansial, karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang melebihi biaya investasi awal selama periode analisis lima tahun.

3. B/C Ratio

B/C atau Benefit Cost Ratio merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan perbandingan dari total pendapatan dengan total biaya dari proyek yang sedang dirancang. Nilai B/C dari proyek ini dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{B/C Ratio} = \text{Total pendapatan} / \text{Total biaya}$$

$$\text{B/C Ratio} = 520.000.000 / 415.500.000$$

$$\text{B/C Ratio} = 1.25$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proyek memiliki nilai B/C sebesar 1,25, yang berarti total manfaat yang diperoleh 25% lebih besar dibandingkan total biaya yang dikeluarkan. Dengan nilai B/C di atas 1, proyek ini secara finansial layak untuk dijalankan, karena setiap Rp1 biaya investasi mampu menghasilkan Rp1,25 manfaat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi memberikan keuntungan yang positif untuk implementasi subsistem ini.

2.4.2.2.2 Analisis Kelayakan Finansial Subsistem 2

1. Return On Investment (ROI)

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai ROI dari proyek ini

$$ROI = \frac{(\text{Total Penjualan} - \text{Biaya Investasi})}{\text{Biaya Investasi}} \times 100 \%$$

Diketahui :

a. Proyeksi Penjualan = 50/tahun

b. Total biaya = (Product Cost x jumlah unit) + Development cost =
(Rp2.695.000 x 50) + Rp1.000.000 = Rp135.750.000

c. ROI = 25%

Dari rumus ROI diatas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$ROI = \frac{(Total\ Penjualan - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\%$$

$$0.25 = \frac{(50P - Rp.135.750.000)}{Rp.135.750.000}$$

$$0.25 \times Rp.135.750.000 = 50P - Rp.135.750.000$$

$$Rp.33.937.500 = 50P - Rp.135.750.000$$

$$50P = Rp.135.750.000 + Rp.33.937.500$$

$$50P = Rp.169.687.500$$

$$P = \frac{Rp.169.687.500}{50}$$

$$P = Rp3.393.750$$

Maka harga jual untuk 1 unit sistem ini adalah sebesar Rp3.393.750 atau dibulatkan menjadi Rp 3.500.000/unit

Lalu untuk keuntungan per unit yang kita dapat yaitu : Keuntungan = Harga Jual - Product Cost = Rp 3.500.000 – Rp2.695.000 = Rp 805.000/unit

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode untuk menilai proyek dengan mengukur nilai keuangannya. NPV sering digunakan dalam manajemen keuangan dan pengambilan keputusan investasi. Berikut perhitungan untuk untuk mendapatkan NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Diketahui :

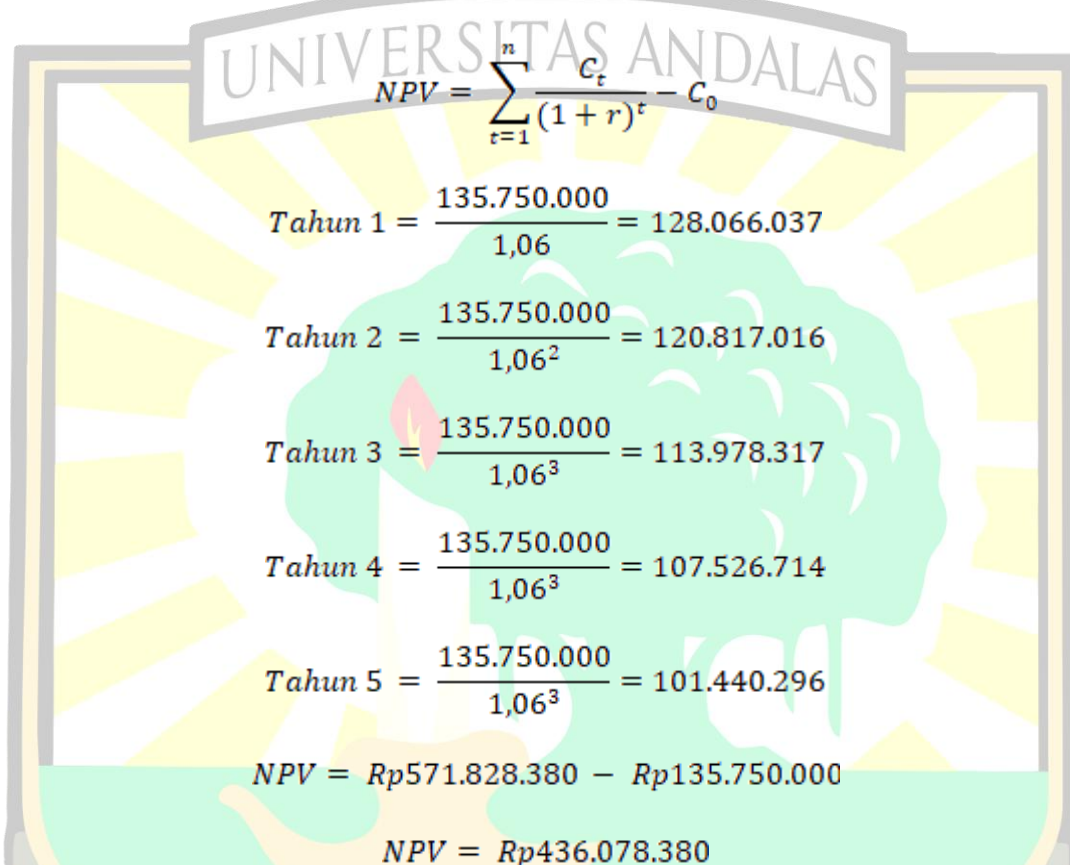
- Pendapatan bersih per unit: Rp3.500.000
- Jumlah penjualan per tahun: 50 unit
- Cash Flow tahunan (CF): $Rp\ 805.000 \times 50 = Rp\ 175.000.000/\text{tahun}$
- Arus kas (C_t) = Total penjualan – Investasi = $Rp.175.000.000 - (Rp2.695.000 \times 50) + Rp.1.000.000 = Rp.41.250.000$
- Periode analisis: 5 tahun
- Discount rate (r): $6\% = 0.06$
- Biaya Investasi Total (C_0) = Rp.135.750.000

maka:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$$NPV = Rp147.432.732 - Rp1.000.000$$

$$NPV = Rp146.432.732$$



$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$$Tahun 1 = \frac{135.750.000}{1,06} = 128.066.037$$

$$Tahun 2 = \frac{135.750.000}{1,06^2} = 120.817.016$$

$$Tahun 3 = \frac{135.750.000}{1,06^3} = 113.978.317$$

$$Tahun 4 = \frac{135.750.000}{1,06^3} = 107.526.714$$

$$Tahun 5 = \frac{135.750.000}{1,06^3} = 101.440.296$$

$$NPV = Rp571.828.380 - Rp135.750.000$$

$$NPV = Rp436.078.380$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp436.078.480 yang bernilai positif dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa subsistem pendeteksian kehilangan dan kesalahan penempatan produk layak secara finansial, karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang melebihi biaya investasi awal selama periode analisis lima tahun.

3. B/C Ratio

B/C atau Benefit Cost Ratio merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan perbandingan dari total pendapatan dengan total biaya dari proyek yang sedang dirancang. Nilai B/C dari proyek ini dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$B/C = \frac{Rp. 3.500.000}{Rp2.695.000}$$

$$B/C = 1.29$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proyek memiliki nilai B/C sebesar 1,29, yang berarti total manfaat yang diperoleh 29% lebih besar dibandingkan total biaya yang dikeluarkan. Dengan nilai B/C di atas, proyek ini secara finansial layak untuk dijalankan, karena setiap biaya investasi mampu menghasilkan 1,29 manfaat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi memberikan keuntungan yang positif untuk implementasi subsistem ini.

2.4.2.2.3 Analisis Kelayakan Finansial Subsistem 3

1. Return On Investment (ROI)

Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai ROI dari proyek ini

$$ROI = \frac{(Total\ Penjualan - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\ %$$

Diketahui :

- a. Proyeksi Penjualan = 50/tahun
- b. Total biaya = (Product Cost x jumlah unit) + Development cost = (Rp 2.353.000 x 50) + Rp 1.250.000 = Rp 118.900.000
- c. ROI = 25%

Dari rumus ROI diatas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$Biaya\ Investasi = (Product\ Cost\ x\ jumlah\ unit) + Development\ cost = (Rp 2.353.000 \times 50) + Rp 1.250.000 = Rp 118.900.000$$

$$ROI = \frac{(Total\ Penjualan - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\ %$$

$$0,25 \times 118.900.000 = 50p - 118.900.000$$

$$29.725.000 = 50p - 118.900.000$$

$$50p = 148.625.000$$

$$P = 148.625.000 / 50$$

$$P = 2.972.500$$

Maka harga jual untuk 1 unit sistem ini adalah sebesar Rp 2.972.500 atau dibulatkan menjadi Rp 3.000.000/unit

Lalu untuk keuntungan per unit yang kita dapat yaitu : $\text{Keuntungan} = \text{Harga Jual} - \text{Product Cost} = \text{Rp } 3.000.000 - \text{Rp } 2.353.000 = \text{Rp } 647.000 / \text{unit}$

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode untuk menilai proyek dengan mengukur nilai keuangannya. NPV sering digunakan dalam manajemen keuangan dan pengambilan keputusan investasi. Berikut perhitungan untuk untuk mendapatkan NPV:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Diketahui :

- a. Pendapatan bersih per unit: Rp 647.000
- b. Jumlah penjualan per tahun: 50 unit
- c. Cash Flow tahunan (CF): $\text{Rp } 647.000 \times 50 = \text{Rp } 32.350.000 / \text{tahun}$
- d. Arus kas (Ct) = Total penjualan – Investasi = $\text{Rp } 32.350.000 - (\text{Rp } 2.353.000 \times 50) + \text{Rp } 1.250.000 = \text{Rp } 95.650.000$
- f. Periode analisis: 5 tahun
- g. Discount rate (r): $6\% = 0.06$
- h. Biaya Investasi Total (Co) = Rp 118.900.000

maka :

$$NPV = \sum_{t=1}^5 \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$$\text{Tahun 1} = 118.900.000 / 1,06$$

$$\text{Tahun 1} = \frac{118.900.000}{1,06} = 112.169.811$$

$$\text{Tahun 2} = \frac{118.900.000}{1,06^2} = 105.820.577$$

$$\text{Tahun 3} = \frac{118.900.000}{1,06^3} = 99.830.733$$

$$\text{Tahun 4} = \frac{118.900.000}{1,06^4} = 94.179.937$$

$$\text{Tahun 5} = \frac{118.900.000}{1,06^5} = 88.848.997$$

Total Present Value (PV) : $112.169.811 + 105.820.577 + 99.830.733 + 94.170.937 + 88.848.997 = \text{Rp } 500.841.055$.

$$\text{NPV} = \text{Rp } 500.841.055 - \text{Rp } 118.900.000 = \text{Rp } 381.941.055$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp. 381.941.055 yang bernilai positif dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa subsistem pendeteksian kehilangan dan kesalahan penempatan produk layak secara finansial, karena mampu memberikan manfaat ekonomi yang melebihi biaya investasi awal selama periode analisis lima tahun.

3. B/C Ratio

B/C atau Benefit Cost Ratio merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan perbandingan dari total pendapatan dengan total biaya dari proyek yang sedang dirancang. Nilai B/C dari proyek ini dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{B/C Ratio} = \text{Total pendapatan} / \text{Total biaya}$$

$$\text{B/C Ratio} = 3.000.000 / 2.353.000$$

$$\text{B/C Ratio} = 1,25$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proyek memiliki nilai B/C sebesar 1,25, yang berarti total manfaat yang diperoleh 25% lebih besar dibandingkan total biaya yang dikeluarkan. Dengan nilai B/C di atas 1, proyek ini secara finansial layak untuk dijalankan, karena setiap Rp1 biaya investasi mampu menghasilkan Rp1,25

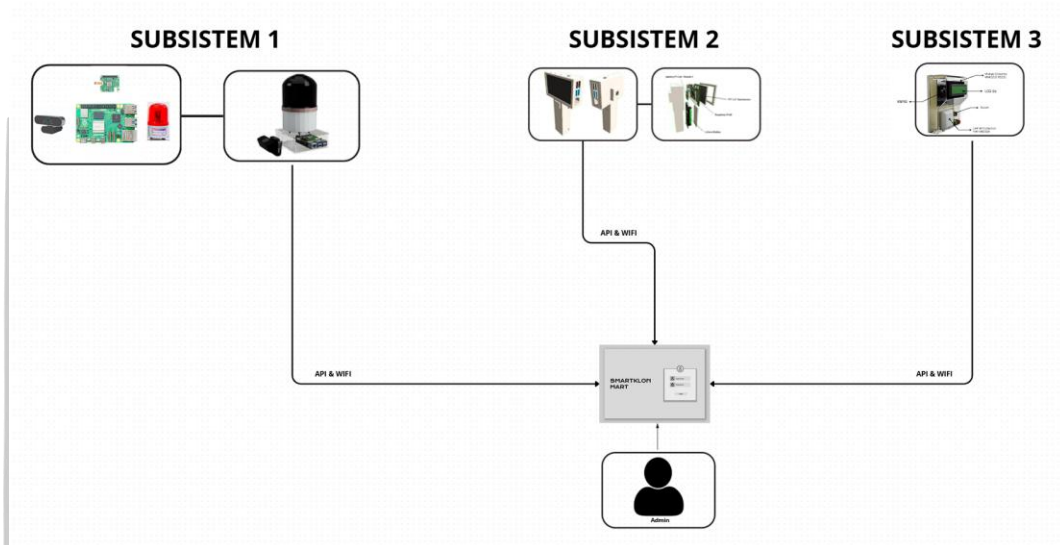
manfaat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi memberikan keuntungan yang positif untuk implementasi subsistem ini.



BAB III

RANCANGAN

3.1 Rancangan Umum Sistem



Gambar 3.1 Rancangan Umum Sistem

Rancangan umum sistem Smartklon Mart terdiri atas tiga subsistem utama yang saling terintegrasi melalui jaringan dan *Application Programming Interface* (API). Masing-masing subsistem memiliki fungsi yang berbeda, namun seluruh data dan hasil pemrosesan dikonsolidasikan ke dalam satu sistem pusat berupa dashboard monitoring yang dapat diakses oleh admin.

Subsistem 1 berfungsi sebagai sistem pengawasan rak yang bertujuan mendeteksi kejadian kehilangan produk serta kesalahan penempatan barang. Subsistem ini terdiri dari kamera, unit pemrosesan berbasis Raspberry Pi yang dilengkapi akselerator kecerdasan buatan, serta perangkat peringatan berupa LED strobo. Kamera merekam aktivitas visual di area rak, kemudian data tersebut diproses secara lokal menggunakan metode *Human Activity Recognition* (HAR). Hasil analisis aktivitas dan kondisi rak selanjutnya dikirimkan ke sistem pusat melalui koneksi Wi-Fi dengan perantara API.

Subsistem 2 berperan dalam pemantauan kondisi produk, khususnya terkait masa kedaluwarsa dan ketersediaan stok. Subsistem ini memanfaatkan perangkat pemindai dan modul pemrosesan untuk membaca informasi produk, kemudian

mengolah serta mengirimkan data hasil pemantauan ke sistem pusat. Komunikasi antara Subsistem 2 dan dashboard dilakukan melalui jaringan Wi-Fi menggunakan mekanisme API yang sama, sehingga integrasi dan konsistensi data dapat terjaga.

Subsistem 3 difokuskan pada fungsi pendukung dan kontrol tambahan, seperti modul tampilan informasi, sistem peringatan lokal, atau perangkat berbasis mikrokontroler. Subsistem ini juga terhubung ke sistem pusat melalui Wi-Fi dan API, sehingga status serta data yang dihasilkan dapat dimonitor secara terpusat bersama informasi dari subsistem lainnya.

Seluruh data dari ketiga subsistem dikumpulkan dan disajikan pada dashboard Smartklon Mart yang berfungsi sebagai pusat monitoring dan manajemen sistem. Dashboard ini menyediakan antarmuka bagi admin untuk memantau kondisi rak, status produk, notifikasi kejadian, serta riwayat data secara *real-time*. Melalui dashboard tersebut, admin dapat melakukan pengawasan, analisis, dan pengambilan keputusan berdasarkan informasi yang dihasilkan oleh sistem.

3.1.1 Rancangan Umum Subsistem 1

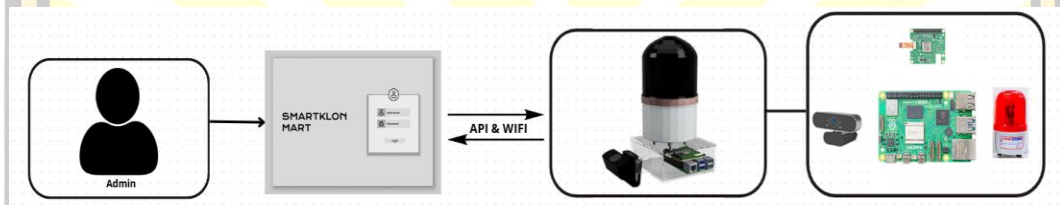
Rancangan umum subsistem bertujuan memberikan gambaran menyeluruh mengenai alur kerja serta keterkaitan antar komponen dalam subsistem pendeteksian kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Subsistem ini dirancang sebagai sistem pengawasan rak berbasis analisis aktivitas manusia yang beroperasi secara otomatis dan kontinu selama jam operasional toko.

Subsistem 1 terdiri atas kamera visual sebagai perangkat akuisisi data, Raspberry Pi 5 sebagai unit pemrosesan utama, akselerator AI Hailo-8L untuk mempercepat proses inferensi, serta perangkat peringatan lokal berupa LED strobo. Sistem ini juga terintegrasi dengan server backend dan dashboard berbasis web untuk menampilkan notifikasi, pencatatan aktivitas, serta dokumentasi visual hasil deteksi.

Secara umum, sistem bekerja dengan menangkap aktivitas manusia di area rak melalui kamera statis, kemudian memproses data melalui tahapan pra-pemrosesan, ekstraksi pose menggunakan MediaPipe, dan klasifikasi aktivitas berbasis CNN.

Hasil klasifikasi digunakan untuk mengidentifikasi kondisi normal atau abnormal, yang selanjutnya memicu peringatan dan penyimpanan data ke basis data terpusat untuk ditampilkan pada dashboard.

Rancangan ini memungkinkan pengawasan rak dilakukan secara real-time, akurat, dan dengan intervensi manusia yang minimal, sehingga meningkatkan keamanan dan keandalan pengelolaan stok. Diagram rancangan umum subsistem 1 ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Rancangan Umum Subsistem 1

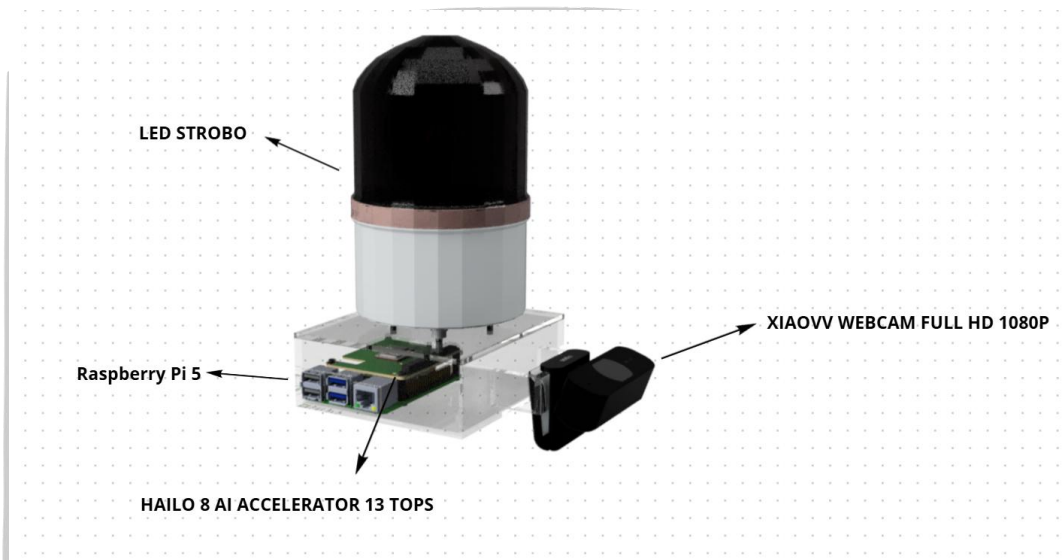
Gambar 3.2 memperlihatkan rancangan umum sistem pengawasan rak untuk mendeteksi kehilangan dan kesalahan penempatan produk pada toko kelontong modern. Arsitektur sistem terdiri atas tiga komponen utama, yaitu perangkat edge (subsistem pemantauan rak), sistem backend, dan antarmuka pengguna berupa dashboard admin yang saling terhubung melalui jaringan nirkabel.

Subsistem pemantauan rak ditempatkan secara statis pada area rak dan terdiri dari kamera sebagai perangkat akuisisi data visual, Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan utama, serta lampu strobo sebagai perangkat peringatan lokal. Kamera menangkap aktivitas di area rak secara kontinu, kemudian data visual diproses menggunakan pendekatan *Human Activity Recognition* (HAR) yang meliputi tahap pra-pemrosesan, ekstraksi pose manusia dengan MediaPipe, dan klasifikasi aktivitas menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN).

Hasil klasifikasi dianalisis untuk menentukan kondisi rak, baik normal maupun abnormal yang mengindikasikan kehilangan atau kesalahan penempatan produk. Jika terdeteksi anomali, sistem mengaktifkan peringatan lokal dan mengirimkan data kejadian ke backend melalui koneksi Wi-Fi.

Pada sisi backend, data kejadian dikirim melalui *Application Programming Interface* (API) dan disimpan dalam basis data PostgreSQL yang berfungsi sebagai

pusat pencatatan log aktivitas dan dokumentasi visual. Selanjutnya, dashboard web SMARTKLON MART menampilkan informasi kondisi rak secara real-time, riwayat kejadian, serta bukti visual, sehingga admin dapat memantau operasional rak tanpa inspeksi manual.



Gambar 3.3 Tampak Dalam Rancangan Subsystem 1

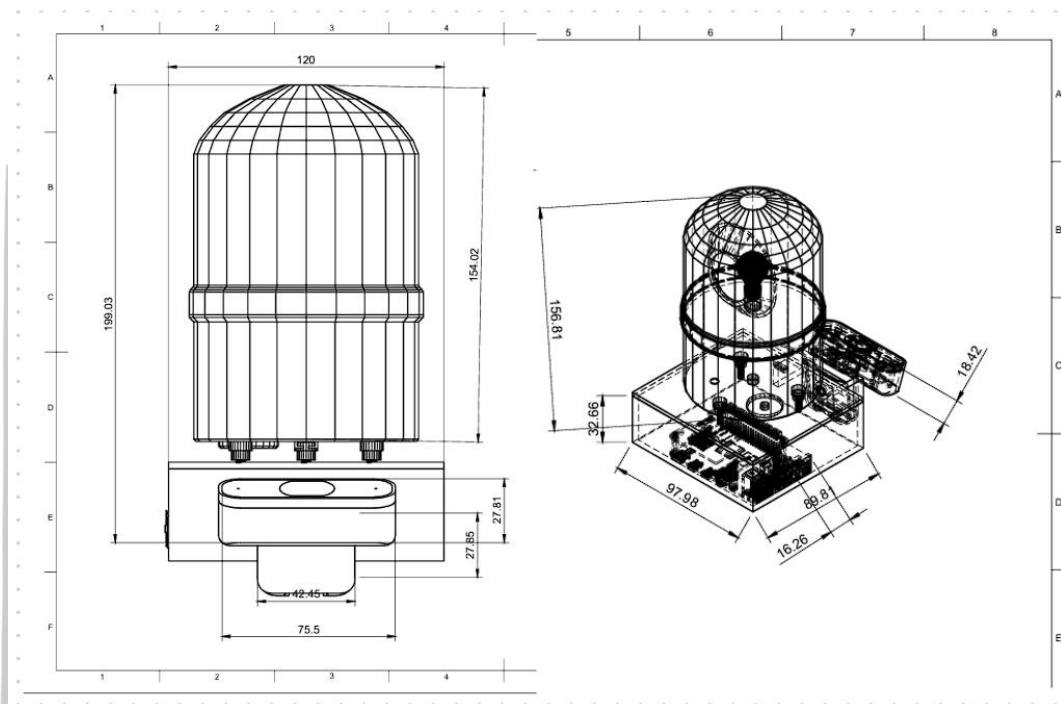
Gambar 3.3 menunjukkan tampak dalam rancangan sistem pengawasan rak pada subsystem pendeteksiian kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Seluruh komponen utama dirancang dalam satu unit terintegrasi agar sistem bersifat ringkas, stabil, dan mudah dipasang pada area rak toko.

Raspberry Pi 5 berfungsi sebagai unit pemrosesan utama yang mengendalikan proses akuisisi data visual, pemrosesan citra, serta pengiriman data ke sistem backend. Perangkat ini terhubung langsung dengan kamera Xiaovv Webcam Full HD 1080p sebagai sumber input visual untuk memantau aktivitas manusia dan kondisi rak secara kontinu.

Untuk meningkatkan kinerja inferensi, sistem dilengkapi dengan akselerator AI Hailo-8L berkapasitas 13 TOPS yang mempercepat pemrosesan model *deep learning*, sehingga mengurangi beban komputasi Raspberry Pi dan mendukung deteksi aktivitas secara real-time dengan latensi rendah.

Selain itu, sistem dilengkapi LED strobo sebagai perangkat peringatan lokal yang diaktifkan secara otomatis oleh Raspberry Pi melalui rangkaian driver ketika

terdeteksi aktivitas abnormal, seperti potensi kehilangan atau kesalahan penempatan barang.

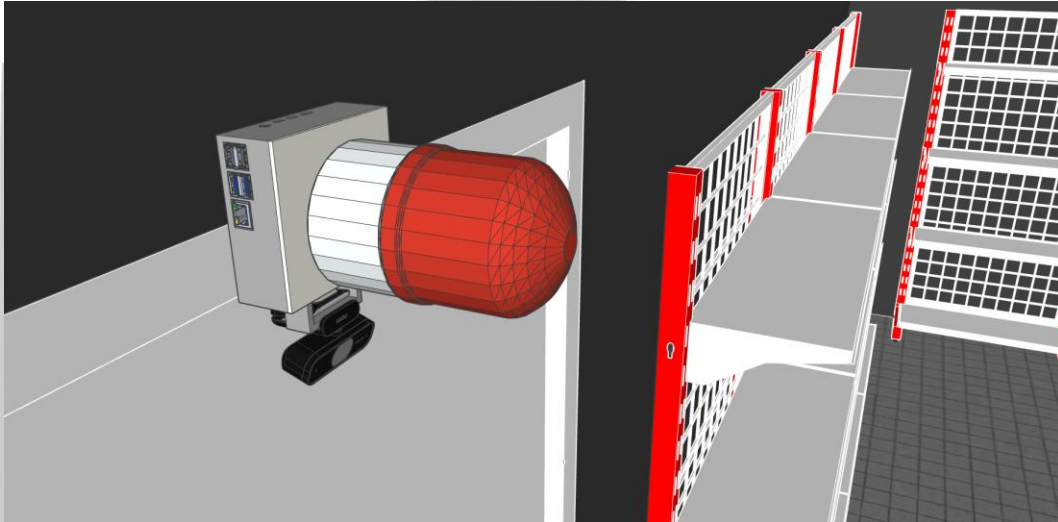


Gambar 3.4 Gambar Teknik Rancangan Subsystem 1

Gambar 3.4 menampilkan gambar teknik rancangan Subsystem 1 yang memperlihatkan dimensi fisik, tata letak komponen, serta konfigurasi mekanik sistem pengawasan rak berbasis pengolahan citra dan kecerdasan buatan. Rancangan disajikan dalam tampak depan dan tampak isometrik untuk memberikan gambaran visual yang menyeluruh terhadap bentuk dan ukuran perangkat.

Pada tampak depan, sistem ditunjukkan dalam bentuk housing silinder vertikal yang berfungsi melindungi komponen elektronik utama, seperti unit pemrosesan, modul akselerator AI, dan rangkaian pendukung. Dimensi housing dirancang untuk memastikan sirkulasi udara yang memadai sekaligus menjaga kestabilan mekanik saat perangkat dipasang secara statis di area rak. Tampak isometrik memperlihatkan detail penempatan komponen internal, termasuk posisi papan pemrosesan, modul kamera, serta jalur koneksi antarmuka dan catu daya. Kamera diposisikan pada bagian depan dengan sudut pandang mengarah ke area rak, sehingga mampu menjangkau aktivitas manusia dan kondisi barang secara optimal pada jarak pengamatan sekitar 2–3 meter.

Bagian dasar sistem dirancang sebagai alas penopang yang lebih lebar untuk meningkatkan kestabilan perangkat, sekaligus menyediakan ruang bagi jalur kabel dan modul pendukung daya, sehingga sistem dapat beroperasi secara aman dan stabil dalam jangka waktu panjang.



Gambar 3.5 Posisi Penempatan Susistem 1

Gambar 3.5 memperlihatkan ilustrasi penempatan sistem pengawasan pada area rak penyimpanan. Sistem dipasang secara statis di sisi rak dengan orientasi kamera menghadap langsung ke area produk, sehingga aktivitas manusia dan perubahan kondisi barang dapat dipantau secara optimal tanpa menggunakan perangkat bergerak.

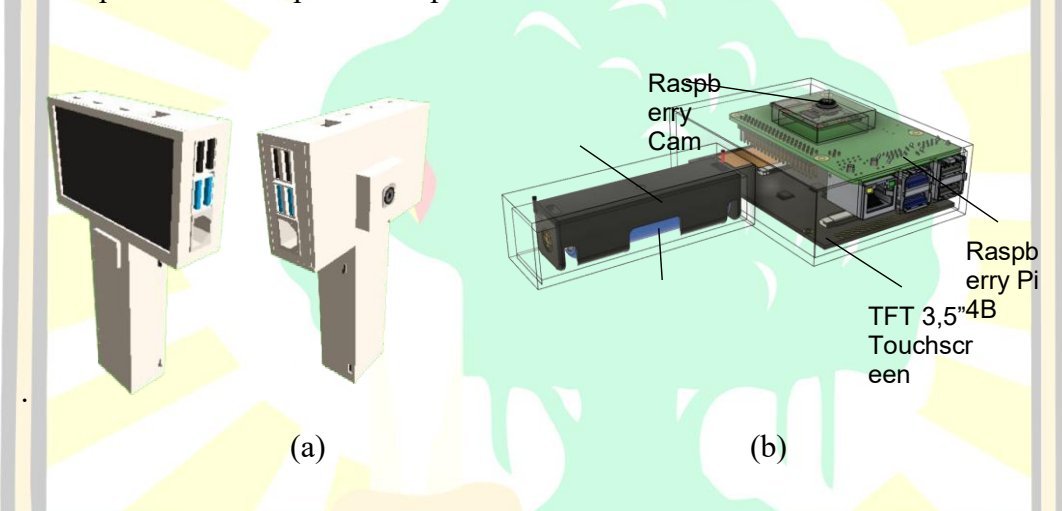
Kamera ditempatkan sejajar dengan permukaan rak pada ketinggian tertentu agar sudut pandangnya mampu mencakup beberapa tingkat rak dalam satu *field of view*. Konfigurasi ini memungkinkan sistem memantau aktivitas pengambilan, pemindahan, dan pengembalian barang secara efektif, sehingga mendukung deteksi kehilangan maupun kesalahan penempatan produk.

Area berwarna merah pada gambar menunjukkan zona pengawasan kamera, yaitu area yang dianalisis oleh sistem berbasis pengolahan citra dan kecerdasan buatan. Zona ini ditentukan berdasarkan jarak optimal kamera terhadap rak, sekitar 2–3 meter, guna memastikan objek manusia dan produk terdeteksi dengan jelas tanpa distorsi visual yang signifikan.

Penempatan sistem di sisi rak bertujuan meminimalkan gangguan terhadap aktivitas operasional toko, sekaligus mempermudah instalasi, perawatan, dan penyesuaian sudut kamera apabila terjadi perubahan tata letak rak.

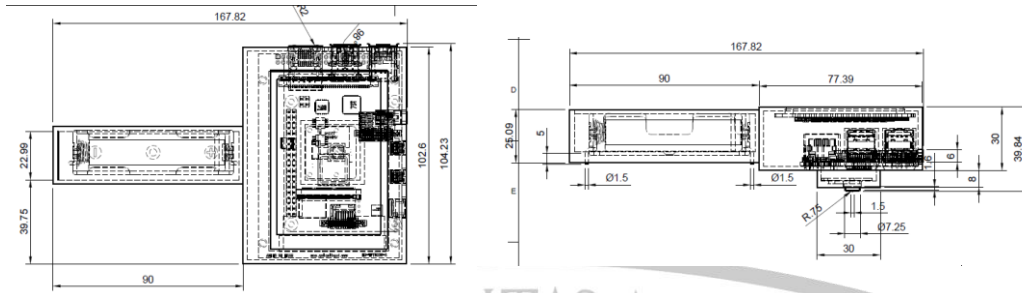
3.1.2 Rancangan Umum Subsistem 2

Rancangan umum sistem memberikan uraian dan struktur sistem yang akan dibangun sesuai dengan kebutuhan sistem tersebut. Rancangan memberikan visualisasi hubungan antara komponen – komponen. Rancangan menampilkan bagaimana keterkaitan antara satu komponen dengan yang lain. Rancangan umum sistem pada alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.6 Rancangan Umum Sistem. (a) Tampilan Alat (b) Tampak Dalam

Gambar 3.6 menunjukkan bahwa rancangan sistem memiliki bentuk mirip seperti kamera. Pengambilan gambar citra dilakukan melalui antarmuka yang terdapat pada layar Touchscreen. Kamera diarahkan ke salah satu mata yang akan diperiksa. Kemudian kamera menangkap citra objek dengan menekan button pada layar. Setelah citra objek berhasil ditangkap, maka Raspberry Pi memproses dan mengklasifikasikan gambar tersebut. Hasil pemrosesan ditampilkan di layar, yang menampilkan informasi mengenai keadaan mata saat ini. Selain itu agar rangkaian dapat bekerja, baterai Li-Ion yang terdapat pada Battery Shield menyuplai daya dengan stabil.



Gambar 3.7 Gambar Teknik Rancangan Subsistem 2

3.1.3 Rancangan Umum Subsistem 3

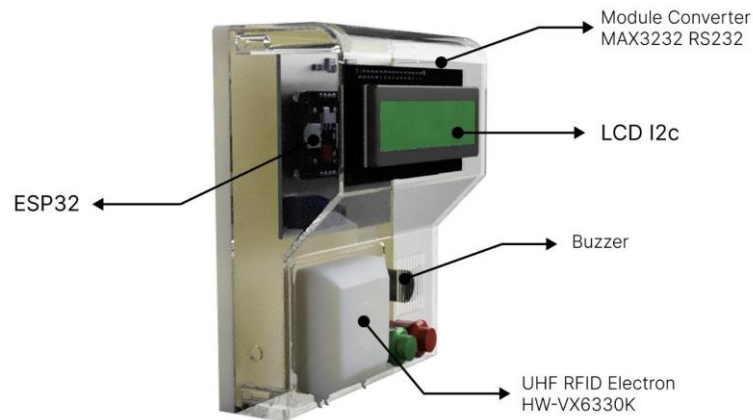
Berdasarkan spesifikasi sistem yang telah ditentukan, diperlukan suatu perancangan umum sistem yang memuat desain arsitektur untuk menggambarkan gambaran keseluruhan (overview) sistem. Sistem manajemen stok barang yang dirancang berupa area penyimpanan dengan rak bertingkat sebagai media penempatan barang, yang dilengkapi dengan perangkat kontrol dan pemantauan berbasis elektronik yang terintegrasi dan dipasang pada dinding area penyimpanan. Sistem ini dirancang untuk memantau ketersediaan serta pergerakan stok barang secara terstruktur dan terintegrasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.8 Rancangan Umum Sistem 3D

Pada Gambar 3.7 ditampilkan gambaran rancangan umum sistem dalam bentuk visualisasi 3D yang merepresentasikan kondisi sistem saat diterapkan pada lingkungan toko kelontong yang sebenarnya. Rancangan ini menunjukkan area

penyimpanan barang berupa rak bertingkat yang digunakan sebagai media penempatan stok barang, serta unit perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pusat pemantauan dan pengendalian sistem manajemen stok.



Gambar 3.9 Tampak Rancangan Umum Subsistem 3

Sistem manajemen stok barang ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu rak penyimpanan barang, tag RFID yang ditempelkan pada kemasan barang, perangkat pembaca RFID UHF, unit pemrosesan berbasis mikrokontroler ESP32, modul konverter komunikasi RS232, serta perangkat notifikasi berupa LCD I2C dan buzzer. Setiap barang yang disimpan pada rak dilengkapi dengan tag RFID yang berfungsi sebagai identitas unik produk. Tag RFID tersebut akan dibaca secara otomatis oleh UHF RFID Reader Electron HW-VX6330K ketika terjadi proses penambahan maupun pengambilan barang dari rak penyimpanan.

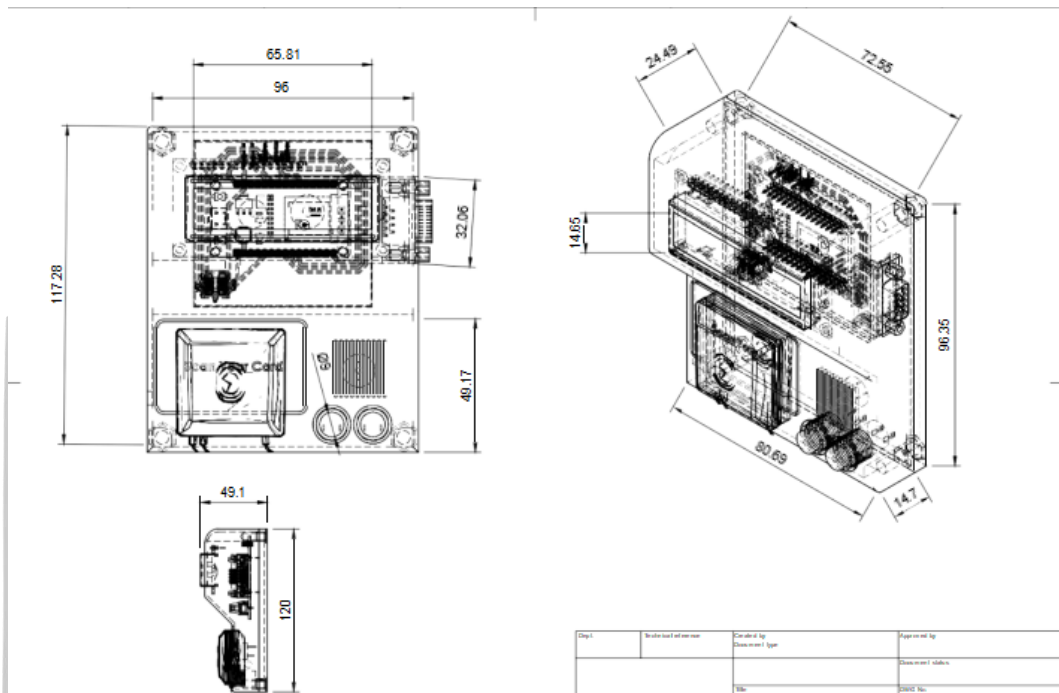
Data hasil pembacaan RFID selanjutnya dikirimkan ke unit pemrosesan utama menggunakan modul konverter MAX3232 RS232 yang berfungsi sebagai antarmuka komunikasi antara RFID reader dan mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 bertugas memproses data identifikasi barang, mencatat transaksi barang masuk dan barang keluar, serta mengirimkan data tersebut ke basis data terpusat melalui koneksi jaringan yang tersedia.

Sebagai bentuk umpan balik langsung di area penyimpanan, sistem dilengkapi dengan notifikasi audio dan visual. Notifikasi audio direalisasikan menggunakan buzzer yang akan aktif ketika sistem berhasil membaca tag RFID atau memproses

transaksi stok. Sementara itu, notifikasi visual ditampilkan melalui LCD I2C yang menampilkan informasi singkat seperti status pembacaan, identitas barang, dan perubahan jumlah stok. Keberadaan buzzer dan LCD I2C bertujuan untuk mempermudah pengguna dalam melakukan verifikasi transaksi dan perhitungan stok secara langsung tanpa harus selalu mengakses antarmuka website.

Data stok yang telah diproses oleh ESP32 kemudian dikirimkan ke basis data, yang selanjutnya digunakan sebagai sumber informasi utama pada sistem manajemen stok berbasis website. Informasi yang ditampilkan mencakup jumlah stok barang, riwayat keluar-masuk barang, serta kondisi stok secara real-time. Dalam pengelolaan stok, sistem menerapkan konsep First In First Out (FIFO), di mana barang dengan waktu masuk lebih awal akan diprioritaskan untuk dikeluarkan terlebih dahulu. Penerapan konsep ini bertujuan untuk menjaga keteraturan alur distribusi barang dan meminimalkan penumpukan stok lama.

Berdasarkan rancangan tata letak yang ditunjukkan pada gambar, unit perangkat kontrol dipasang pada dinding di dekat pintu akses area penyimpanan. Penempatan ini dimaksudkan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan pengoperasian, pemantauan, serta penyesuaian sistem terhadap kondisi lapangan, seperti variasi ukuran barang, susunan barang bertumpuk, maupun kebutuhan mobilitas di area penyimpanan. Ilustrasi kotak-kotak pada rak menggambarkan kondisi penyimpanan barang yang sesungguhnya, di mana perbedaan warna merepresentasikan jenis barang yang berbeda, sesuai dengan variasi stok yang umum terdapat pada toko kelontong.



Gambar 3.10 Gambar Teknik Rancangan Umum Sistem

Pada Gambar 3.9 ditampilkan gambar teknik rancangan unit perangkat Subsistem 3 yang memperlihatkan tampak depan, samping, dan isometrik beserta dimensi casing. Rancangan ini merepresentasikan unit pengendali sistem manajemen stok barang berbasis UHF RFID yang digunakan pada area penyimpanan toko kelontong.

Unit perangkat terdiri dari UHF RFID Reader Electron HW-VX6330K, mikrokontroler ESP32, modul konverter MAX3232 RS232, LCD I2C, dan buzzer. RFID reader berfungsi membaca tag RFID yang ditempel pada barang, kemudian data hasil pembacaan dikirimkan ke ESP32 melalui modul RS232 untuk diproses dan diteruskan ke basis data melalui koneksi jaringan. Pada bagian depan casing ditempatkan LCD I2C sebagai indikator visual untuk menampilkan status pembacaan dan informasi stok, serta buzzer sebagai indikator audio yang memberikan umpan balik ketika proses pembacaan atau transaksi berhasil dilakukan. Penempatan kedua komponen ini bertujuan memudahkan pengguna dalam melakukan verifikasi transaksi secara langsung.

Seluruh komponen ditempatkan dalam casing terintegrasi dengan dimensi yang disesuaikan untuk menjamin kerapian, keamanan, dan kemudahan instalasi.

Dengan rancangan ini, Subsistem 3 mampu mendukung proses pencatatan dan perhitungan stok barang secara otomatis dan andal di lingkungan toko kelontong.

3.2 Rancangan Proses

3.2.1 Rancangan Proses Subsistem 1

Subsistem 1 dirancang untuk meminimalkan kehilangan dan kesalahan penempatan produk pada rak toko kelontong modern melalui pengawasan visual berbasis kecerdasan buatan. Subsistem ini berfokus pada pemantauan interaksi manusia dengan produk secara berkelanjutan, pendeteksian aktivitas tidak normal, serta penyediaan peringatan dan pencatatan kejadian secara otomatis.

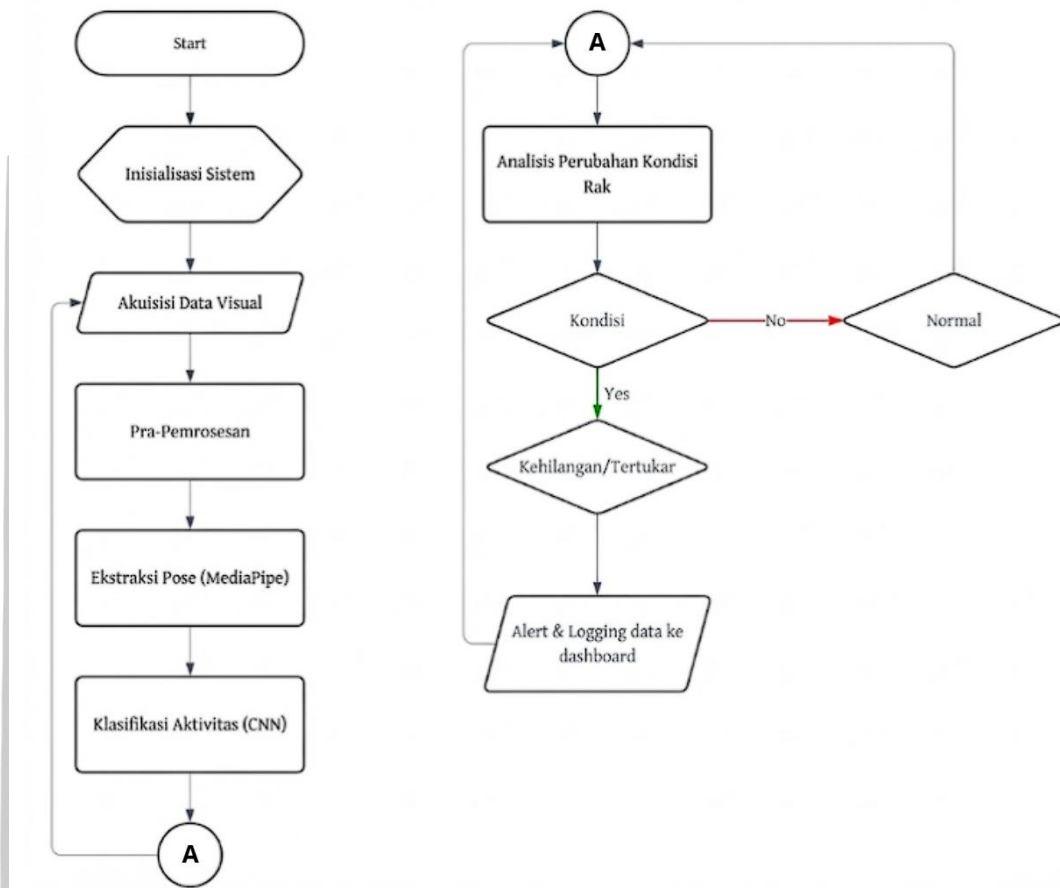
Solusi yang diimplementasikan berupa Sistem Pengawasan Rak berbasis *Human Activity Recognition* (HAR) dengan memanfaatkan MediaPipe dan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN). Sistem menggunakan kamera statis yang diposisikan secara strategis untuk mencakup area rak secara menyeluruh, sehingga mampu memberikan pengawasan visual yang konsisten dan minim gangguan operasional.

Kamera berfungsi sebagai sumber data utama dengan jarak efektif 2–3 meter, sementara pemrosesan dilakukan pada Raspberry Pi 5 yang dipadukan dengan akselerator AI Hailo-8L. MediaPipe digunakan untuk mengekstraksi fitur pose manusia dalam bentuk titik-titik kerangka tubuh, khususnya pergerakan tangan dan tubuh, yang lebih efisien dan stabil dibandingkan citra mentah.

Data titik-titik kerangka tubuh tersebut selanjutnya diproses oleh model CNN untuk mengklasifikasikan aktivitas seperti pengambilan, pengembalian, pemindahan produk yang tidak sesuai, maupun perilaku mencurigakan lainnya. Aktivitas yang menyimpang dari pola normal dikategorikan sebagai aktivitas abnormal yang berpotensi menimbulkan kehilangan atau kesalahan penempatan.

Ketika aktivitas abnormal terdeteksi dengan tingkat kepercayaan tertentu, sistem secara otomatis mengaktifkan peringatan visual dan mengirimkan notifikasi ke sistem pemantauan, serta menyimpan log kejadian yang mencakup waktu, jenis aktivitas, dan bukti visual. Subsistem ini dirancang untuk beroperasi secara kontinu

dengan konsumsi daya efisien, sehingga mendukung pengawasan proaktif dan pengelolaan stok yang lebih akurat.



Gambar 3.11 Flowchart rancangan proses secara umum

Gambar 3.10 memperlihatkan flowchart alur kerja subsistem pemantauan kehilangan dan kesalahan penempatan barang berbasis Human Activity Recognition (HAR). Proses dimulai ketika sistem diaktifkan (Start), kemudian dilanjutkan dengan tahap inisialisasi. Pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak disiapkan, meliputi Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan utama, kamera sebagai sumber data visual, serta modul pendukung lainnya. Inisialisasi bertujuan memastikan seluruh komponen berada dalam kondisi siap digunakan sebelum proses pemantauan berlangsung.

Setelah inisialisasi berhasil, sistem masuk ke tahap akuisisi data visual. Kamera secara kontinu merekam citra atau video area rak toko sebagai input utama sistem.

Proses ini berlangsung secara berulang selama sistem aktif, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi rak secara real-time.

Data visual yang diperoleh selanjutnya diproses pada tahap pra-pemrosesan. Tahapan ini mencakup penyesuaian ukuran citra, normalisasi, dan pengurangan noise. Pra-pemrosesan dilakukan untuk meningkatkan kualitas data serta mengoptimalkan kinerja komputasi pada tahap selanjutnya.

Hasil pra-pemrosesan kemudian masuk ke tahap ekstraksi pose menggunakan MediaPipe. Pada tahap ini, sistem mengekstraksi fitur kerangka tubuh manusia dalam bentuk landmark pose, terutama yang berkaitan dengan pergerakan tangan dan tubuh di sekitar rak. Data pose ini merepresentasikan aktivitas manusia dalam format numerik yang lebih terstruktur dan efisien dibandingkan citra mentah.

Data pose tersebut selanjutnya diproses pada tahap klasifikasi aktivitas menggunakan Convolutional Neural Network (CNN). CNN menganalisis pola pergerakan yang terdeteksi untuk mengklasifikasikan aktivitas manusia, seperti mengambil barang, mengembalikan barang, atau interaksi lain yang berkaitan dengan kondisi rak.

Hasil klasifikasi aktivitas kemudian digunakan dalam tahap analisis perubahan kondisi rak. Pada tahap ini, sistem mengaitkan aktivitas yang terdeteksi dengan perubahan kondisi rak, seperti berkurangnya jumlah barang, perpindahan posisi produk, atau ketidaksesuaian antara aktivitas dan kondisi rak yang seharusnya. Analisis ini bertujuan untuk menentukan apakah kondisi tersebut termasuk normal atau mengindikasikan anomali.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan keputusan kondisi. Sistem mengevaluasi hasil analisis untuk menentukan status rak, apakah dalam kondisi normal atau terjadi kehilangan maupun kesalahan penempatan barang. Jika kondisi dinyatakan normal, sistem kembali ke proses pemantauan dan melanjutkan siklus akuisisi data secara berulang. Namun, apabila terdeteksi kehilangan atau kesalahan penempatan, sistem akan melanjutkan ke tahap pemberian peringatan dan pencatatan data ke dashboard. Pada tahap ini, sistem menghasilkan notifikasi dan menyimpan data

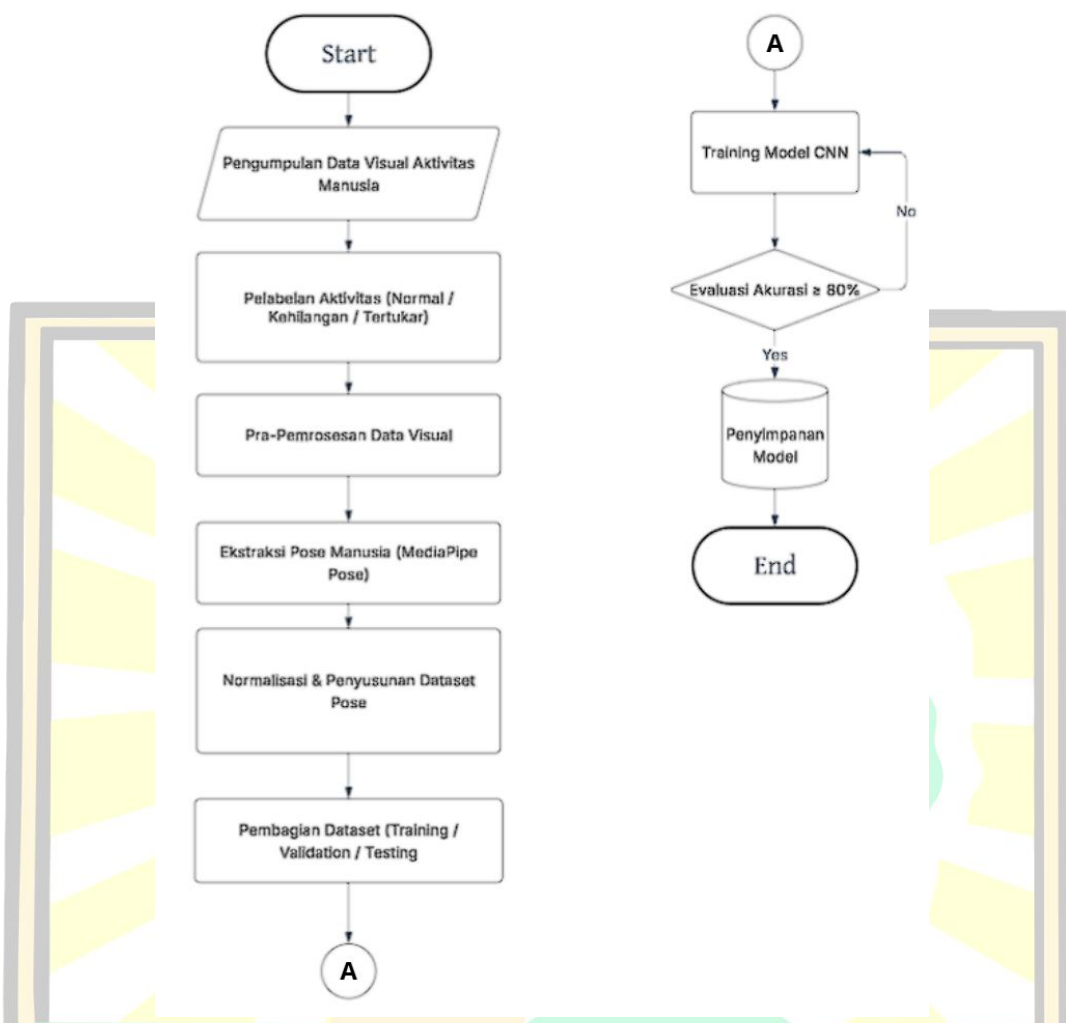
kejadian ke dalam basis data, meliputi waktu kejadian, jenis anomali, serta citra pendukung hasil deteksi. Informasi tersebut kemudian ditampilkan pada dashboard pemantauan berbasis web untuk keperluan monitoring dan audit oleh pengelola toko.

Setelah proses peringatan dan pencatatan selesai, sistem kembali ke mode pemantauan dan melanjutkan siklus monitoring secara berkelanjutan selama sistem aktif. Dengan alur ini, sistem mampu melakukan pemantauan rak secara kontinu, mendeteksi potensi kehilangan maupun kesalahan penempatan barang, serta menyediakan informasi yang terdokumentasi dengan baik melalui dashboard.

3.2.1.1 Proses Training Dataset

Proses pelatihan dataset merupakan tahapan yang dilakukan sebelum sistem diimplementasikan pada lingkungan toko kelontong. Tahapan ini bertujuan untuk membangun model klasifikasi aktivitas yang mampu membedakan kondisi normal, kehilangan, dan kesalahan penempatan (tertukar) berdasarkan pola pergerakan manusia serta interaksinya dengan rak produk. Dataset yang digunakan berasal dari rekaman aktivitas manusia di area rak yang direpresentasikan dalam bentuk data pose tubuh, sehingga model yang dihasilkan menjadi lebih robust terhadap variasi latar belakang, pencahayaan, dan kondisi lingkungan.

Proses pelatihan ini tidak dijalankan secara real-time pada sistem operasional, melainkan dilakukan pada tahap pengembangan untuk menghasilkan model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah terlatih dan siap digunakan pada tahap inferensi di perangkat Raspberry Pi. Dengan pendekatan ini, beban komputasi yang tinggi difokuskan pada fase pengembangan, sementara sistem yang diterapkan di lapangan hanya menjalankan proses klasifikasi secara efisien dan ringan.



Gambar 3.12 Flowchart Proses Training Dataset

Tujuan utama dari tahapan ini adalah menghasilkan model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang mampu mengenali serta membedakan pola aktivitas manusia yang berkaitan dengan kondisi normal, kehilangan, dan kesalahan penempatan produk di rak.

Proses diawali dengan tahap pengumpulan data visual aktivitas manusia, berupa rekaman video interaksi manusia di area rak yang diambil menggunakan kamera. Aktivitas yang direkam mencakup berbagai skenario, seperti pengambilan produk secara normal, pemindahan produk ke rak lain, hingga aktivitas yang berpotensi menyebabkan kehilangan barang. Data visual tersebut digunakan sebagai sumber utama dalam pembentukan dataset.

Tahap berikutnya adalah pelabelan aktivitas, di mana setiap segmen data video diberi label kelas sesuai dengan jenis aktivitas yang terjadi, yaitu normal, kehilangan, atau tertukar. Proses pelabelan ini bertujuan agar model CNN dapat mempelajari perbedaan karakteristik gerakan pada setiap kelas aktivitas secara terarah dan sistematis.

Setelah pelabelan, data visual diproses melalui tahap pra-pemrosesan, yang meliputi penyesuaian resolusi, pemotongan area yang relevan, serta pengurangan noise visual. Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data masukan serta meminimalkan variasi yang tidak relevan sebelum dilakukan ekstraksi fitur.

Data hasil pra-pemrosesan kemudian diproses pada tahap ekstraksi pose manusia menggunakan *MediaPipe Pose*. Pada tahap ini, sistem mengekstraksi landmark tubuh manusia dalam bentuk koordinat titik-titik sendi yang merepresentasikan postur dan pergerakan manusia. Pendekatan berbasis pose memungkinkan sistem untuk berfokus pada pola gerakan manusia tanpa bergantung pada tampilan visual produk maupun kondisi pencahayaan lingkungan.

Selanjutnya, dilakukan normalisasi dan penyusunan dataset pose, di mana data landmark disusun menjadi vektor fitur yang seragam serta dinormalisasi untuk memastikan konsistensi skala antar data. Dataset pose yang telah tersusun kemudian dibagi menjadi tiga bagian, yaitu data *training*, data *validation*, dan data *testing*, guna mendukung proses pelatihan serta evaluasi model secara objektif.

Dataset tersebut digunakan pada tahap pelatihan model CNN, di mana model dilatih untuk mempelajari hubungan antara pola pose manusia dan kelas aktivitas yang telah ditentukan. Selama proses pelatihan, performa model dievaluasi berdasarkan nilai akurasi yang dihasilkan.

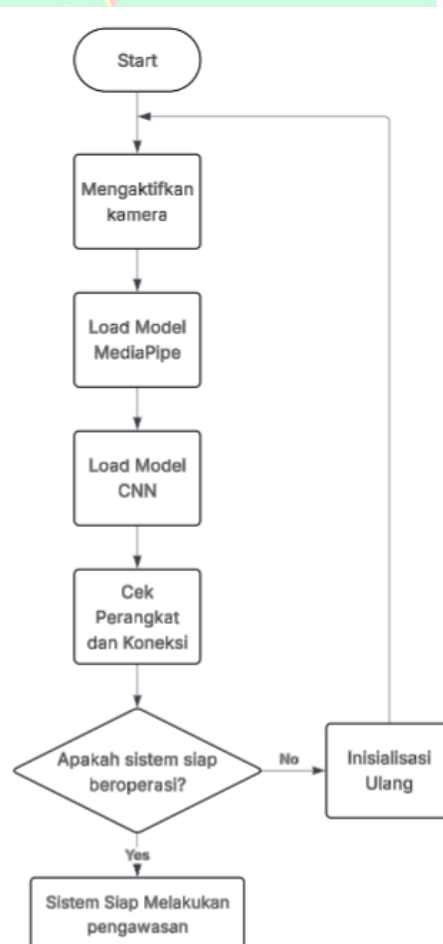
Hasil pelatihan selanjutnya dievaluasi pada tahap evaluasi akurasi model dengan ambang batas kelayakan minimal sebesar 80%. Apabila nilai akurasi belum memenuhi kriteria tersebut, proses pelatihan akan diulang dengan penyesuaian parameter atau perbaikan dataset. Sebaliknya, apabila akurasi telah memenuhi kriteria, model CNN yang telah terlatih akan disimpan dan digunakan pada sistem

operasional sebagai model inferensi untuk mendeteksi aktivitas abnormal secara real-time.

Dengan adanya proses pelatihan dataset ini, sistem yang diimplementasikan di lingkungan toko hanya menjalankan proses inferensi yang ringan dan efisien, sehingga mampu beroperasi secara optimal pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti Raspberry Pi.

3.2.1.2 Proses Persiapan Inisialisasi Sistem

Pada proses ini bertujuan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak berada dalam kondisi siap sebelum proses pengawasan rak dimulai. Pada tahap ini dilakukan pengaktifan kamera, pemuatan model kecerdasan buatan, serta pengecekan konektivitas sistem agar proses monitoring dapat berjalan secara stabil dan berkelanjutan.



Gambar 3.13 Flowchart Proses Persiapan Inisialisasi Sistem

Gambar 3.12 menunjukkan proses persiapan inisialisasi sistem yang merupakan tahapan sebelum memasuki proses monitoring aktivitas secara berkelanjutan. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak berada dalam kondisi siap dan terkonfigurasi dengan benar sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil dan andal.

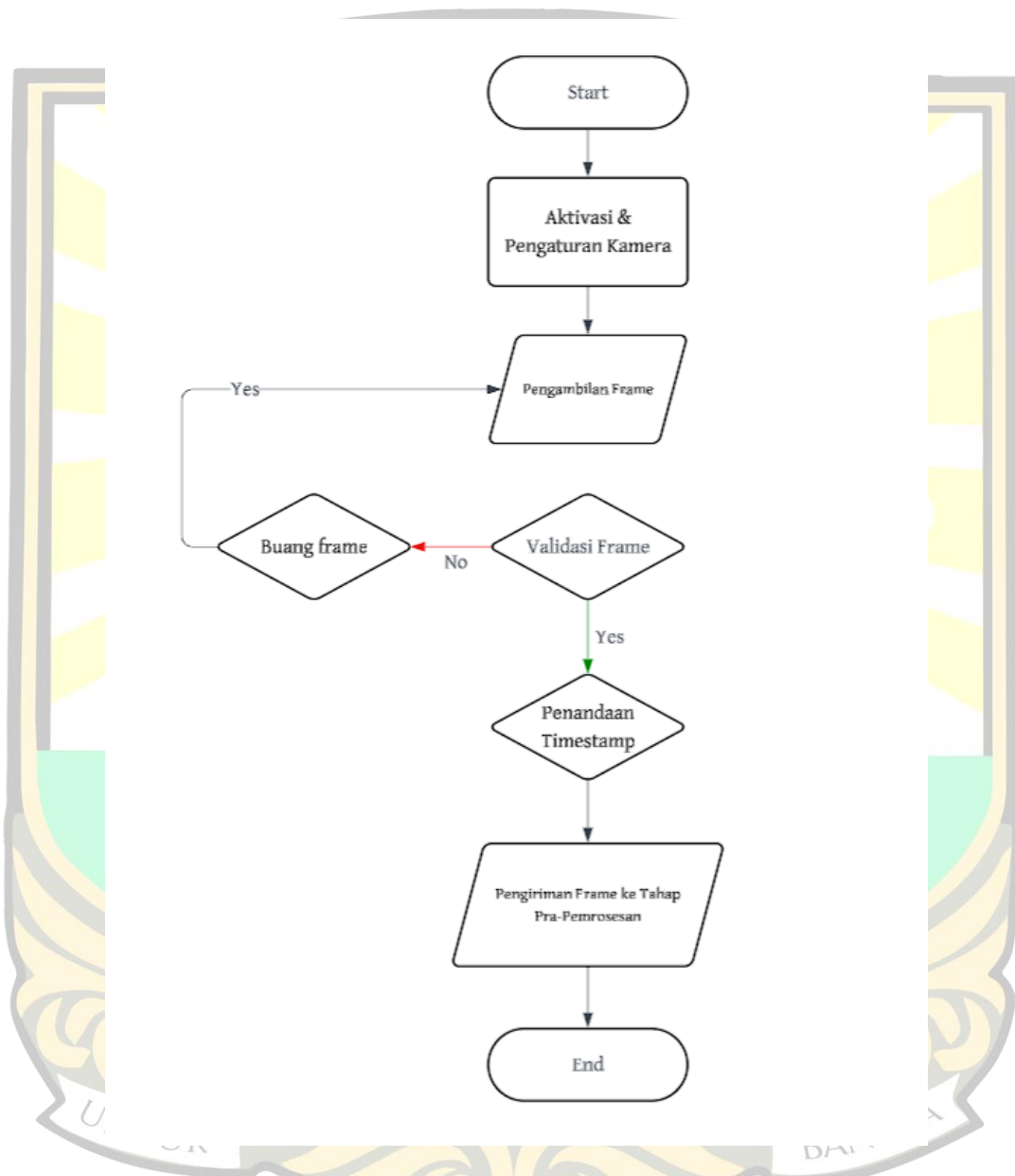
Proses diawali dengan inisialisasi sistem, yang mencakup aktivasi perangkat utama. Selanjutnya, sistem melakukan pengaktifan kamera sebagai sumber utama data visual, sekaligus memastikan kamera dapat berfungsi dan terhubung dengan baik. Setelah kamera aktif, sistem memuat model *MediaPipe* untuk keperluan ekstraksi pose manusia serta model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang digunakan dalam proses klasifikasi aktivitas. Tahap berikutnya adalah pemeriksaan perangkat dan koneksi, yang meliputi pengecekan status kamera, ketersediaan model, konektivitas sistem, serta kesiapan sumber daya komputasi. Pada tahap ini, sistem mengevaluasi apakah seluruh komponen telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Apabila hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa sistem belum siap beroperasi, maka sistem akan menjalankan proses inisialisasi ulang untuk memperbaiki konfigurasi atau memuat ulang komponen yang bermasalah. Sebaliknya, jika seluruh komponen dinyatakan siap, sistem akan masuk ke kondisi siap monitoring, yang menandakan bahwa sistem dapat melanjutkan ke proses berikutnya.

3.2.1.3 Proses Penangkapan Data Visual

Proses penangkapan data visual merupakan tahapan awal yang memiliki peranan sangat penting dalam subsistem pemantauan kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Tahap ini berfungsi sebagai penyedia utama data masukan yang digunakan pada seluruh rangkaian pemrosesan berikutnya, mulai dari pra-pemrosesan citra, ekstraksi pose manusia, hingga klasifikasi aktivitas berbasis algoritma pembelajaran mendalam. Kualitas serta konsistensi data visual yang dihasilkan pada tahap ini secara langsung memengaruhi tingkat akurasi sistem dalam mengenali aktivitas normal maupun aktivitas abnormal yang berpotensi menyebabkan kehilangan atau kesalahan penempatan produk pada rak toko.

Dengan demikian, proses penangkapan data visual dirancang secara terstruktur dan sistematis untuk memastikan setiap frame yang diperoleh memiliki kualitas yang memadai, relevan terhadap area pemantauan, serta dilengkapi dengan informasi waktu yang akurat sebagai bagian dari pencatatan log sistem.



Gambar 3.14 Proses Penangkapan Data Visual

Gambar tersebut menampilkan flowchart yang menggambarkan alur proses penangkapan data visual pada subsistem pemantauan kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Tahapan ini merupakan fase awal dalam pipeline analisis

visual yang bertujuan untuk memperoleh data citra sebagai masukan utama bagi sistem berbasis *Human Activity Recognition* (HAR).

Proses diawali dengan aktivasi sistem, yang dilanjutkan dengan inisialisasi dan konfigurasi kamera. Pada tahap ini dilakukan pengaturan parameter utama, seperti resolusi, *frame rate*, serta area pengamatan yang disesuaikan dengan posisi rak dan cakupan pengawasan. Konfigurasi tersebut bertujuan untuk memastikan data visual yang dihasilkan memiliki kualitas yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan analisis pose serta klasifikasi aktivitas.

Setelah kamera berhasil diaktifkan dan dikonfigurasi, sistem melakukan pengambilan frame secara kontinu pada area rak. Frame yang diperoleh kemudian melalui tahap validasi citra, di mana sistem mengevaluasi kualitas frame berdasarkan beberapa kriteria, seperti kondisi pencahayaan, ketajaman gambar, serta tingkat noise. Tahap validasi ini berperan penting dalam mencegah pemrosesan citra yang tidak representatif, yang berpotensi menurunkan akurasi deteksi aktivitas pada tahap berikutnya.

Apabila hasil validasi menunjukkan bahwa frame tidak memenuhi kriteria kualitas, frame tersebut akan diabaikan dan sistem kembali melakukan pengambilan frame selanjutnya. Sebaliknya, apabila frame dinyatakan valid, sistem melanjutkan ke tahap penandaan *timestamp*. Pada tahap ini, setiap frame dilengkapi dengan informasi waktu pengambilan sebagai bagian dari metadata, yang berguna untuk pencatatan log, sinkronisasi data, serta analisis kejadian secara kronologis.

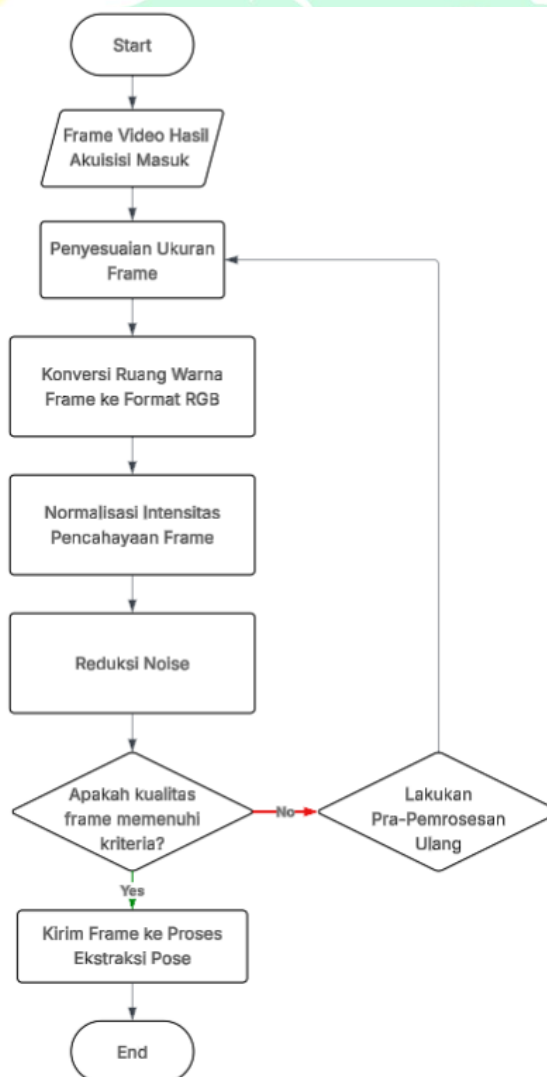
Frame yang telah divalidasi dan diberi *timestamp* selanjutnya diteruskan ke tahap pra-pemrosesan untuk dipersiapkan sebelum dilakukan ekstraksi fitur dan analisis aktivitas lebih lanjut.

3.2.1.4 Proses Pengolahan Awal Data Visual

Proses pra-pemrosesan data visual merupakan tahapan awal pengolahan data setelah proses akuisisi data visual dilakukan. Pada proses ini, data yang diproses berupa frame video hasil akuisisi kamera yang telah dinyatakan valid pada tahap sebelumnya. Tujuan utama dari proses pra-pemrosesan adalah untuk memastikan

kualitas dan keseragaman data visual agar sesuai dengan kebutuhan proses ekstraksi pose manusia pada tahap selanjutnya.

Pada tahapan ini, sistem melakukan serangkaian pengolahan awal terhadap frame video yang meliputi penyesuaian ukuran frame sesuai spesifikasi sistem, konversi ruang warna ke format RGB, normalisasi intensitas pencahayaan, serta reduksi noise untuk meningkatkan kualitas visual. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan kualitas frame untuk menentukan kelayakan data sebelum diteruskan ke proses ekstraksi pose. Apabila kualitas frame belum memenuhi kriteria yang ditetapkan, sistem akan melakukan pra-pemrosesan ulang hingga diperoleh frame yang layak untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 3.15 Flowchart Proses Pengolahan Awal Data Visual

Gambar diatas menunjukkan flowchart Proses Pengolahan Awal Data Visual yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas frame video sebelum dilakukan proses ekstraksi pose manusia. Proses diawali dengan masuknya frame video hasil akuisisi dari Subproses 2, yang kemudian diproses secara bertahap untuk memastikan kesesuaian data dengan kebutuhan sistem Human Activity Recognition (HAR). Proses ini dimulai dengan menyesuaikan ukuran frame, dimana dilakukan untuk menyeragamkan resolusi citra sesuai dengan spesifikasi input model MediaPipe dan keterbatasan komputasi perangkat Raspberry Pi 5. Selanjutnya, sistem melakukan konversi ruang warna frame ke format RGB, karena format ini merupakan standar input yang digunakan oleh MediaPipe dalam proses ekstraksi pose.

Setelah konversi warna, sistem menerapkan normalisasi intensitas pencahayaan untuk mengurangi pengaruh variasi kondisi pencahayaan di lingkungan toko. Tahap ini bertujuan agar perbedaan terang–gelap tidak memengaruhi akurasi pendeteksian pose. Kemudian dilakukan reduksi noise untuk menghilangkan gangguan visual seperti bintik atau distorsi citra yang dapat menurunkan kualitas fitur visual. Selanjutnya dilakukan evaluasi kualitas frame untuk menentukan apakah frame telah memenuhi kriteria kelayakan, seperti tingkat ketajaman, pencahayaan yang memadai, dan minim noise. Apabila frame tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan, maka sistem akan melakukan pra-pemrosesan ulang hingga kualitas frame dinyatakan layak. Jika frame memenuhi kriteria, maka data tersebut akan dikirim ke proses ekstraksi pose menggunakan MediaPipe.

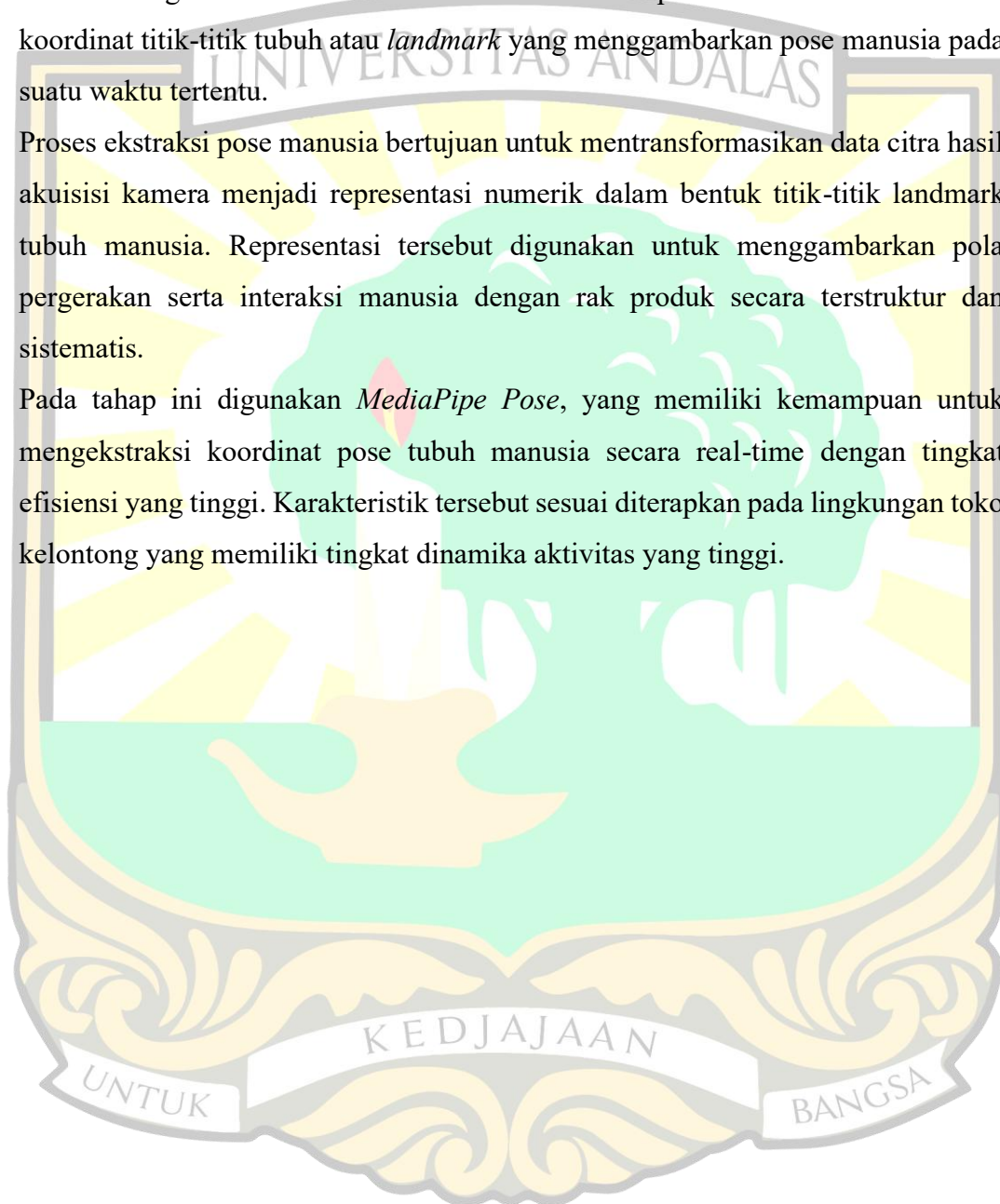
3.2.1.5 Proses Ekstraksi Pose Manusia Menggunakan MediaPipe

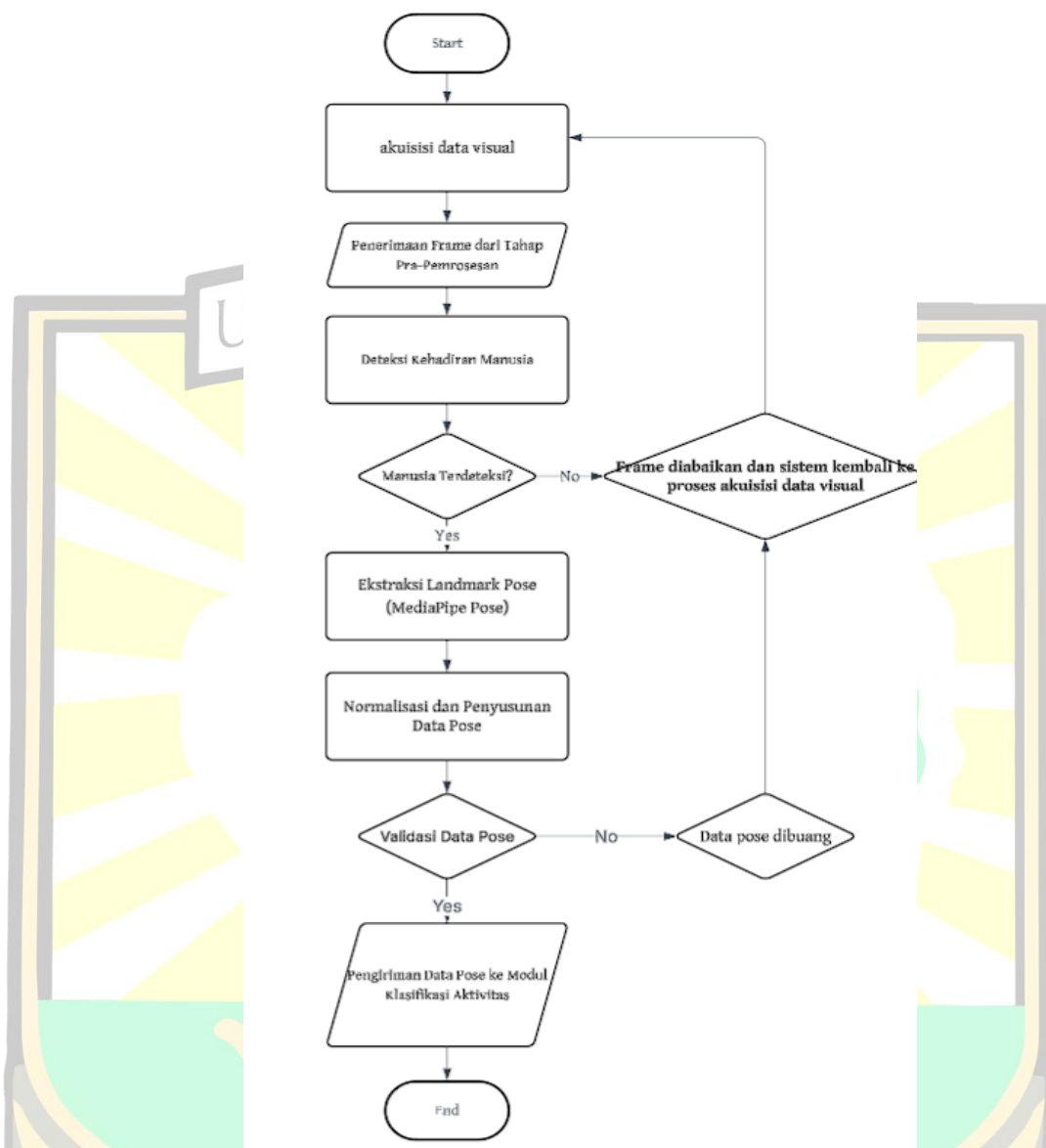
Ekstraksi merupakan suatu proses dalam pengolahan data yang bertujuan untuk mengambil informasi yang relevan dari data mentah agar dapat digunakan pada tahap analisis atau pemrosesan selanjutnya. Data mentah pada umumnya masih bersifat kompleks, tidak terstruktur, dan mengandung banyak informasi yang tidak seluruhnya diperlukan oleh sistem. Oleh karena itu, melalui proses ekstraksi, sistem melakukan penyaringan dan pemilihan informasi penting, kemudian mengubahnya ke dalam bentuk representasi yang lebih sederhana, terstruktur, dan mudah diolah secara komputasional. Ekstraksi pose merupakan bentuk khusus dari proses

ekstraksi yang berfokus pada pengambilan informasi mengenai posisi dan konfigurasi tubuh manusia dari data gambar atau video. Pada proses ini, sistem tidak lagi memperhatikan keseluruhan informasi visual yang terdapat dalam citra, melainkan hanya mengekstraksi bagian-bagian tubuh manusia yang dianggap relevan dengan kebutuhan. Informasi tersebut direpresentasikan dalam bentuk koordinat titik-titik tubuh atau *landmark* yang menggambarkan pose manusia pada suatu waktu tertentu.

Proses ekstraksi pose manusia bertujuan untuk mentransformasikan data citra hasil akuisisi kamera menjadi representasi numerik dalam bentuk titik-titik landmark tubuh manusia. Representasi tersebut digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan serta interaksi manusia dengan rak produk secara terstruktur dan sistematis.

Pada tahap ini digunakan *MediaPipe Pose*, yang memiliki kemampuan untuk mengekstraksi koordinat pose tubuh manusia secara real-time dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Karakteristik tersebut sesuai diterapkan pada lingkungan toko kelontong yang memiliki tingkat dinamika aktivitas yang tinggi.





Gambar 3.16 Flowchart Proses Ekstraksi Pose Manusia Menggunakan MediaPipe

Flowchart pada gambar 3.15 menggambarkan alur proses ekstraksi pose manusia sebagai bagian dari subsistem deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan representasi pergerakan manusia secara terstruktur, sehingga aktivitas yang terjadi di sekitar rak produk dapat dianalisis secara akurat oleh sistem.

Proses diawali ketika sistem menerima data visual berupa frame citra hasil akuisisi kamera. Frame tersebut selanjutnya diproses pada tahap pra-pemrosesan guna

memastikan kualitas citra berada dalam kondisi yang layak untuk dianalisis. Setelah itu, sistem melakukan pendeteksian awal keberadaan manusia pada setiap frame. Tahap ini berfungsi sebagai mekanisme penyaringan untuk menghindari pemrosesan lanjutan pada frame yang tidak mengandung aktivitas manusia.

Apabila hasil pendeteksian menunjukkan tidak adanya manusia pada frame citra, frame tersebut dianggap tidak relevan dan diabaikan. Sistem kemudian kembali ke proses akuisisi data visual untuk mengambil frame berikutnya. Mekanisme ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi komputasi dengan memastikan bahwa sumber daya sistem hanya digunakan pada data yang memiliki potensi informasi aktivitas.

Sebaliknya, jika keberadaan manusia terdeteksi, sistem melanjutkan ke tahap ekstraksi landmark pose menggunakan *MediaPipe Pose*. Pada tahap ini, sistem mengidentifikasi dan mengekstraksi titik-titik kunci tubuh manusia, seperti kepala, bahu, lengan, dan tangan, yang direpresentasikan dalam bentuk koordinat numerik. Data landmark tersebut membentuk representasi kerangka tubuh manusia yang bersifat ringkas serta relatif tidak dipengaruhi oleh latar belakang visual.

Data landmark pose yang diperoleh kemudian melalui tahap normalisasi dan penyusunan data. Tahapan ini bertujuan untuk menyeragamkan skala dan orientasi pose agar konsisten antar frame, sehingga dapat digunakan secara optimal pada proses klasifikasi aktivitas. Selain itu, normalisasi membantu mengurangi pengaruh variasi jarak kamera, sudut pandang, serta perbedaan postur individu.

Setelah normalisasi, sistem melakukan validasi data pose untuk memastikan bahwa seluruh landmark penting terdeteksi secara lengkap dan tidak mengalami kegagalan ekstraksi. Apabila data pose dinyatakan tidak valid, data tersebut akan dibuang dan sistem kembali ke proses pengambilan frame baru.

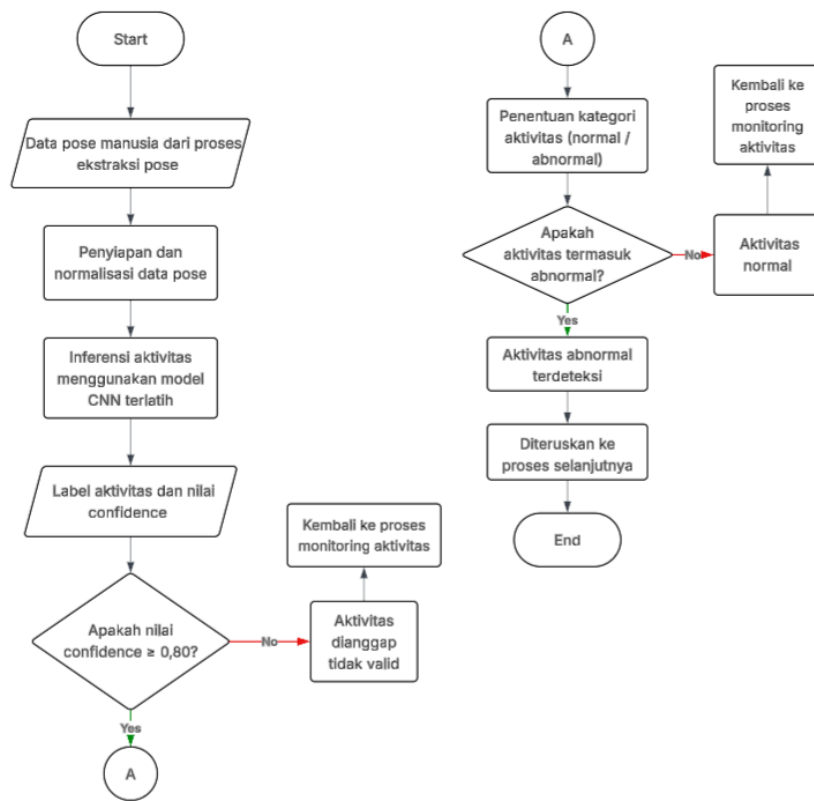
Apabila data pose dinyatakan valid, sistem akan meneruskan data tersebut ke modul klasifikasi aktivitas berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)*. Data pose yang telah tervalidasi digunakan sebagai masukan utama untuk menentukan jenis

aktivitas yang terjadi, baik aktivitas normal maupun indikasi kehilangan atau kesalahan penempatan produk.

Dengan alur tersebut, subsistem ekstraksi pose berperan sebagai penghubung antara data visual mentah dan proses klasifikasi aktivitas, sekaligus memastikan bahwa hanya data yang relevan dan berkualitas yang diproses lebih lanjut oleh sistem.

3.2.1.6 Proses Klasifikasi Aktivitas Menggunakan Model CNN Terlatih

Proses klasifikasi aktivitas merupakan tahapan inti dalam sistem pengawasan rak berbasis Human Activity Recognition (HAR) yang bertujuan untuk mengidentifikasi jenis aktivitas manusia berdasarkan data pose yang diperoleh dari proses ekstraksi pose sebelumnya. Pada proses ini, sistem tidak melakukan pelatihan model, melainkan memanfaatkan model Convolutional Neural Network (CNN) yang telah melalui tahap pelatihan sebelumnya untuk melakukan inferensi aktivitas secara real-time. Data pose manusia berupa titik-titik kerangka tubuh (keypoints) diproses dan dinormalisasi agar sesuai dengan format input model CNN. Selanjutnya, model CNN terlatih melakukan proses inferensi untuk mengenali pola pergerakan tangan dan tubuh yang merepresentasikan aktivitas tertentu, seperti interaksi normal dengan rak maupun aktivitas yang menyimpang dari pola normal. Hasil dari proses ini berupa label aktivitas beserta nilai tingkat kepercayaan (confidence score) yang menjadi dasar pengambilan keputusan pada tahap berikutnya. Dengan ini, sistem dapat melakukan pengenalan aktivitas manusia secara otomatis dan berkelanjutan, sehingga mendukung proses analisis perubahan kondisi rak serta mekanisme peringatan dini terhadap potensi kehilangan dan kesalahan penempatan produk.



Gambar 3.17 Flowchart proses klasifikasi aktivitas

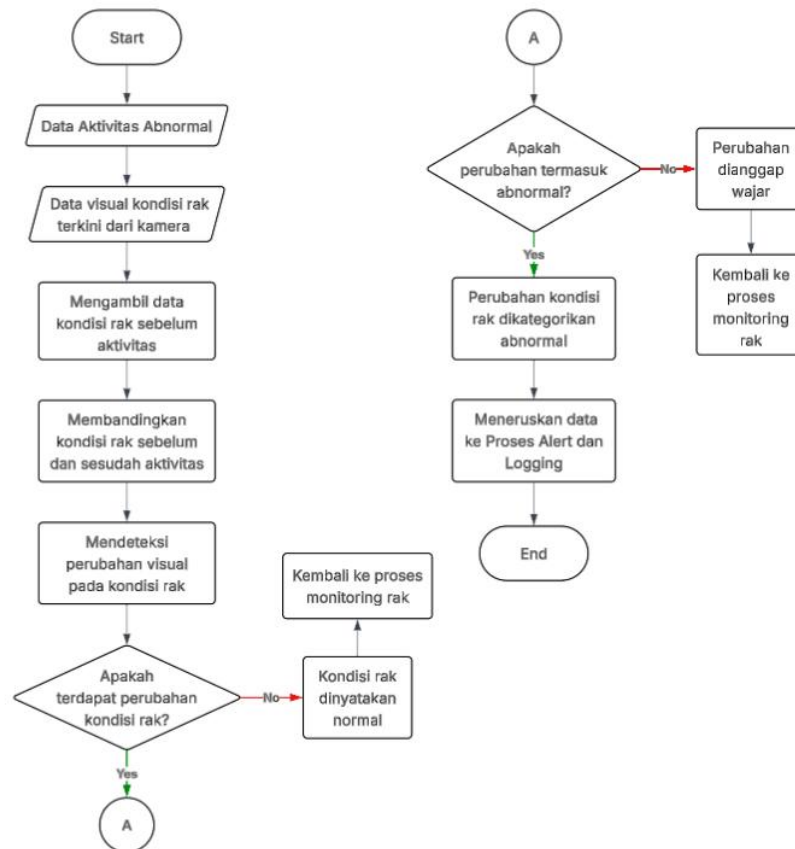
Gambar diatas menunjukkan *flowchart* dari proses klasifikasi aktivitas manusia yang dilakukan berdasarkan data pose hasil ekstraksi dari proses sebelumnya. Proses ini diawali dengan penerimaan data pose manusia berupa titik-titik kerangka tubuh (keypoints) yang dihasilkan dari proses ekstraksi pose. Data pose tersebut kemudian melalui tahap penyiapan dan normalisasi, yang bertujuan untuk menyesuaikan struktur dan skala data agar sesuai dengan format input model *Convolutional Neural Network* (CNN). Setelah data siap, sistem melakukan inferensi aktivitas menggunakan model CNN terlatih. Pada tahap ini, model CNN menganalisis pola pergerakan tangan dan tubuh untuk menghasilkan label aktivitas beserta nilai tingkat kepercayaan (*confidence score*). Nilai *confidence* tersebut selanjutnya dievaluasi melalui proses pengambilan keputusan untuk menentukan validitas hasil klasifikasi.

Apabila nilai *confidence* yang dihasilkan tidak memenuhi ambang batas yang telah ditetapkan, maka aktivitas dianggap tidak valid dan sistem akan kembali ke proses monitoring untuk menunggu data pose berikutnya. Sebaliknya, jika nilai *confidence*

memenuhi ambang batas, sistem akan melanjutkan ke tahap penentuan kategori aktivitas. Pada tahap ini, aktivitas diklasifikasikan sebagai aktivitas normal atau aktivitas abnormal. Jika aktivitas yang terdeteksi termasuk aktivitas normal, sistem tidak melakukan tindakan lanjutan dan kembali ke proses monitoring aktivitas. Namun, apabila aktivitas teridentifikasi sebagai aktivitas abnormal, maka aktivitas tersebut diteruskan ke proses selanjutnya.

3.2.1.7 Proses Evaluasi Perubahan Kondisi Rak

proses evaluasi perubahan kondisi rak merupakan tahapan lanjutan yang dilakukan setelah sistem mendeteksi aktivitas abnormal pada proses klasifikasi aktivitas. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak dari aktivitas abnormal terhadap kondisi fisik dan susunan produk pada rak, sehingga sistem dapat mengidentifikasi potensi kehilangan maupun kesalahan penempatan produk secara lebih akurat. Pada proses ini, sistem memanfaatkan informasi hasil klasifikasi aktivitas serta data visual terkini dari kamera untuk melakukan analisis perbandingan kondisi rak sebelum dan sesudah terjadinya aktivitas. Analisis dilakukan dengan mengamati perubahan visual pada area rak, seperti perbedaan jumlah produk, posisi produk, atau ketidaksesuaian penempatan dengan kondisi normal yang telah ditetapkan. Hasil dari proses evaluasi ini digunakan untuk menentukan apakah perubahan yang terdeteksi termasuk perubahan normal atau perubahan yang berpotensi menimbulkan masalah. Apabila perubahan kondisi rak dikategorikan sebagai abnormal, maka sistem akan meneruskan informasi tersebut ke proses peringatan dan pencatatan kejadian.

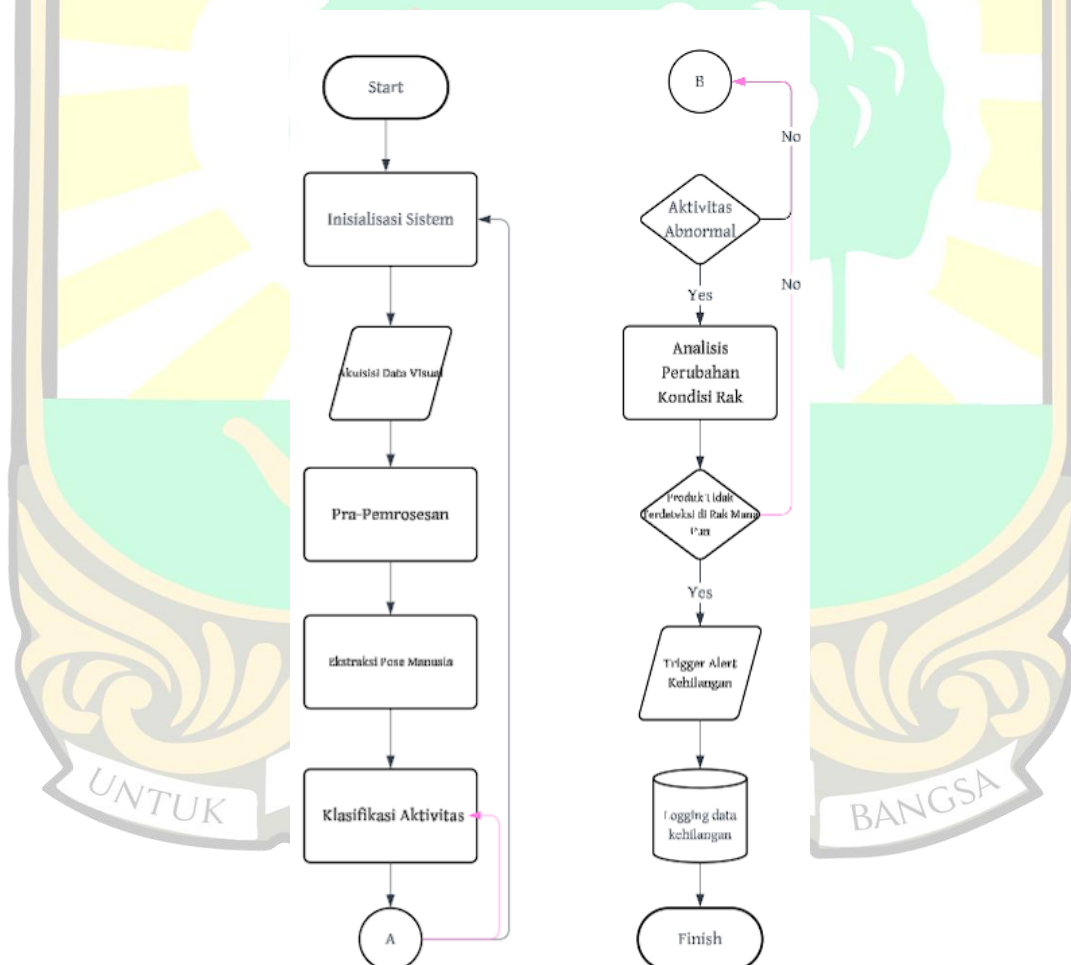


Gambar 3.18 Flowchart proses evaluasi perubahan kondisi rak

Pada flowchart proses evaluasi perubahan kondisi rak ini dimulai dengan tahap penerimaan data aktivitas abnormal yang dihasilkan dari proses klasifikasi aktivitas. Data ini berfungsi sebagai pemicu untuk melakukan analisis lanjutan terhadap kondisi rak. Selanjutnya, sistem memperoleh data visual kondisi rak terkini yang diambil langsung dari kamera pengawas. Analisis dilakukan terhadap keseluruhan area rak yang tertangkap kamera, tanpa melakukan pembatasan area tertentu. Untuk mengidentifikasi adanya perubahan, sistem mengambil data visual kondisi rak sebelum aktivitas terjadi sebagai data pembanding. Data kondisi rak sebelum dan sesudah aktivitas kemudian dibandingkan menggunakan teknik analisis citra untuk mendeteksi perbedaan visual, seperti perubahan susunan produk, pergeseran posisi barang, atau indikasi berkurangnya jumlah produk pada rak.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, sistem melakukan proses pendeteksian perubahan visual pada kondisi rak. Apabila tidak ditemukan perubahan yang

signifikan, maka kondisi rak dinyatakan normal dan sistem kembali ke proses monitoring rak secara berkelanjutan. Namun, jika terdeteksi adanya perubahan kondisi rak, maka proses dilanjutkan ke tahap evaluasi berikutnya. Pada tahap evaluasi, sistem menentukan apakah perubahan kondisi rak yang terdeteksi termasuk dalam kategori perubahan abnormal. Jika perubahan dianggap wajar, sistem mengklasifikasikan kondisi rak sebagai normal dan mengembalikan alur ke proses monitoring rak. Sebaliknya, jika perubahan dikategorikan sebagai abnormal, maka kondisi rak dinyatakan mengalami anomali. Perubahan kondisi rak yang tergolong abnormal selanjutnya diteruskan ke proses alert dan logging, sehingga sistem dapat memberikan peringatan kepada operator serta mencatat kejadian tersebut sebagai bagian dari log sistem.



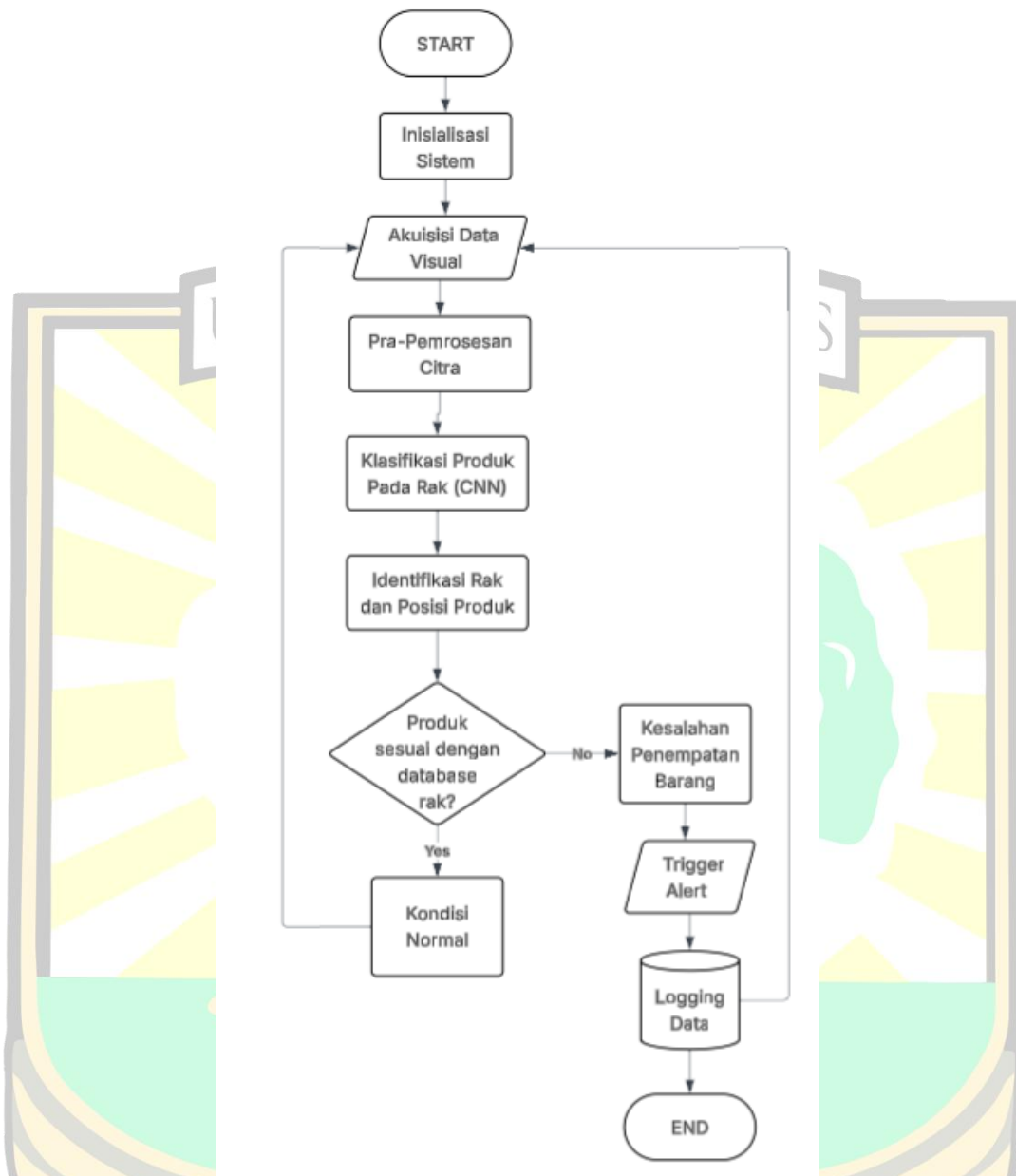
Gambar 3.19 Flowchart Untuk Kondisi Kehilangan Barang

Penentuan apakah suatu kondisi abnormal dikategorikan sebagai kehilangan barang atau kesalahan penempatan dilakukan melalui pendekatan bertahap yang

menggabungkan analisis aktivitas manusia dan evaluasi perubahan kondisi rak. Pada tahap awal, sistem mengidentifikasi adanya aktivitas abnormal menggunakan modul Human Activity Recognition (HAR) yang berbasis pada data pose manusia hasil ekstraksi MediaPipe. Pola pergerakan yang menyimpang dari aktivitas normal—seperti mengambil barang tanpa mengembalikannya, membawa barang menjauh dari area rak, atau memindahkan produk secara tidak wajar dimana akan ditandai sebagai aktivitas yang berpotensi bermasalah.

Pada tahap ini, sistem belum menentukan jenis kejadian, melainkan hanya mendeteksi adanya interaksi abnormal. Selanjutnya, setelah aktivitas abnormal teridentifikasi, sistem melakukan analisis lanjutan terhadap kondisi fisik rak dengan membandingkan data visual sebelum dan sesudah interaksi berlangsung. Analisis ini mencakup perubahan jumlah produk, pergeseran posisi barang, serta keberadaan produk pada rak asal maupun rak lainnya. Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa suatu produk tidak lagi berada di rak asal dan tidak terdeteksi kembali pada rak lain dalam rentang waktu pengamatan tertentu, maka kejadian tersebut diklasifikasikan sebagai kehilangan barang. Kondisi ini mengindikasikan bahwa produk kemungkinan telah dibawa keluar dari sistem rak tanpa adanya proses pengembalian atau transaksi yang sah. Sebaliknya, apabila produk tidak ditemukan di rak asal tetapi masih terdeteksi berada pada rak lain, maka sistem mengklasifikasikan kejadian tersebut sebagai kesalahan penempatan barang.

Dalam kondisi ini, barang tidak hilang secara fisik, namun posisinya tidak sesuai dengan data sistem, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian inventori atau fenomena phantom inventory. Dengan membedakan kedua kondisi tersebut, sistem tidak hanya mampu mendeteksi aktivitas abnormal, tetapi juga memahami dampak operasional yang ditimbulkannya. Pendekatan ini memungkinkan sistem memberikan respons yang lebih tepat, baik berupa peringatan kehilangan barang maupun notifikasi kesalahan penempatan, serta mendukung pengelolaan stok yang lebih akurat dan andal.



Gambar 3.20 Flowchart Untuk Kondisi Kesalahan Penempatan Barang

Penentuan apakah suatu produk berada pada kondisi normal atau mengalami kesalahan penempatan dilakukan melalui pendekatan bertahap yang berfokus pada analisis visual rak dan kesesuaian penempatan produk berdasarkan basis data sistem. sistem menerapkan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk melakukan klasifikasi produk pada rak. Pada tahap ini, CNN berperan dalam mengidentifikasi jenis produk berdasarkan ciri visualnya, seperti bentuk kemasan, warna dominan, dan pola visual tertentu. Hasil klasifikasi ini menghasilkan informasi mengenai identitas produk yang terdeteksi pada setiap rak. Setelah jenis

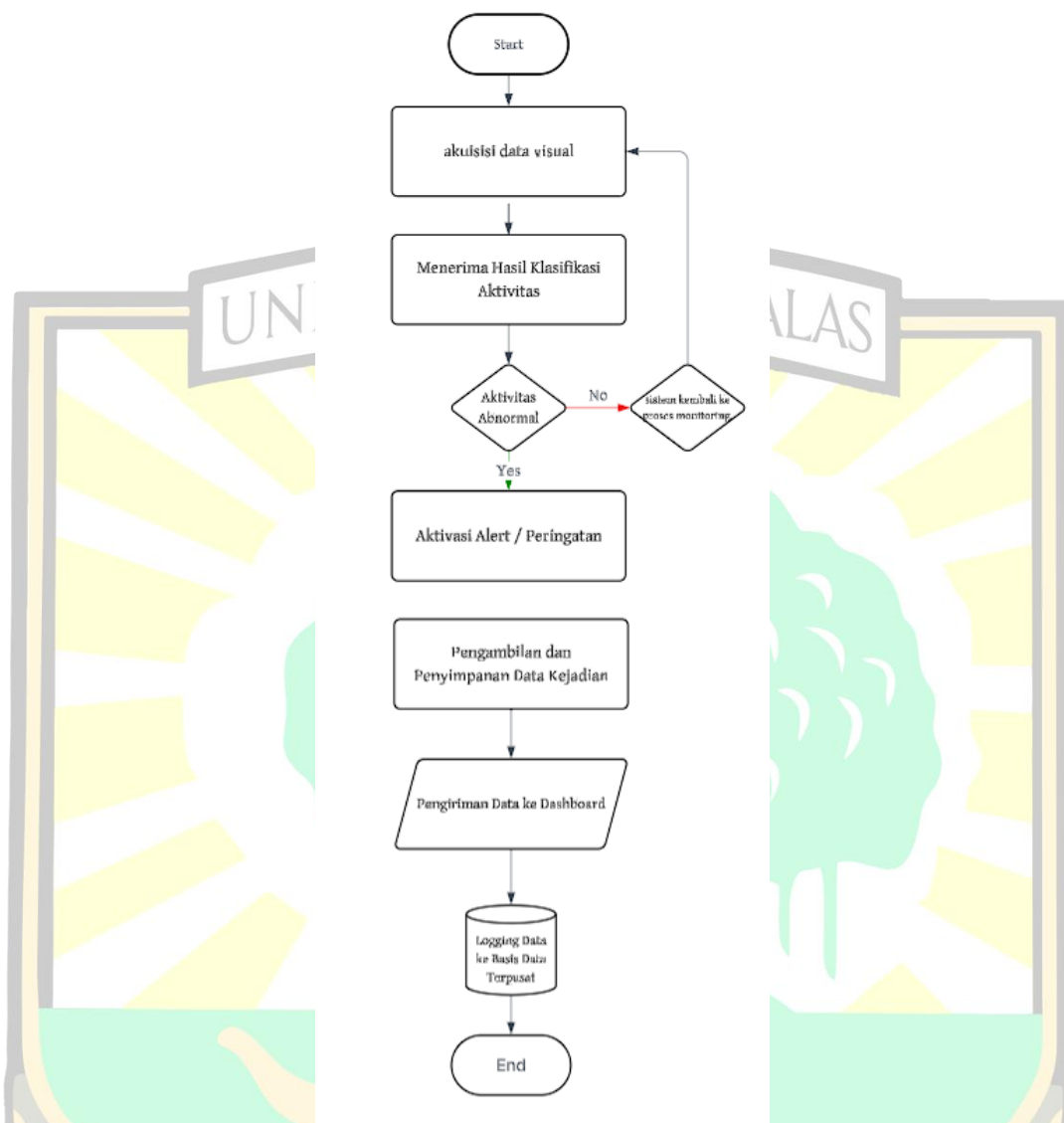
produk berhasil dikenali, sistem melakukan identifikasi rak dan posisi produk. Informasi ini kemudian dibandingkan dengan database penempatan produk, yang berisi data mengenai rak ideal atau lokasi semestinya dari setiap jenis produk. Proses perbandingan ini menjadi dasar utama dalam pengambilan keputusan terkait kesesuaian penempatan barang. Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa produk yang terdeteksi berada pada rak yang sesuai dengan database, maka kondisi tersebut diklasifikasikan sebagai kondisi normal, dan sistem kembali ke proses monitoring untuk melakukan pemantauan berkelanjutan. Namun, apabila produk terdeteksi berada pada rak yang tidak sesuai dengan data penempatan yang tersimpan di dalam sistem, maka kejadian tersebut diklasifikasikan sebagai kesalahan penempatan barang.

Pada kondisi kesalahan penempatan, sistem akan memicu peringatan (trigger alert) sebagai notifikasi kepada pengelola toko atau operator sistem bahwa telah terjadi ketidaksesuaian penempatan produk. Selain itu, sistem juga melakukan pencatatan kejadian melalui proses logging data, yang mencakup informasi jenis produk, rak terdeteksi, rak seharusnya, waktu kejadian, serta data citra pendukung.

3.2.1.8 Proses Alert + Logging Data Ke Dashboard

Proses *Alert* dan *Logging Data* ke dashboard merupakan tahap akhir dalam alur pemantauan pada subsistem deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Tahapan ini berperan sebagai mekanisme respons sistem terhadap aktivitas abnormal yang terdeteksi, sekaligus sebagai sarana pencatatan kejadian secara terstruktur untuk keperluan dokumentasi dan evaluasi operasional.

Ketika hasil analisis dan klasifikasi aktivitas mengindikasikan terjadinya kehilangan atau kesalahan penempatan barang, sistem akan menghasilkan peringatan secara real-time dan secara bersamaan melakukan pencatatan data secara otomatis ke dalam basis data terpusat. Data yang direkam meliputi waktu kejadian, jenis anomali, lokasi rak, serta citra pendukung hasil deteksi. Seluruh informasi tersebut selanjutnya ditampilkan pada dashboard pemantauan, sehingga dapat diakses oleh pengelola toko secara cepat, akurat, dan berkelanjutan.



Gambar 3.21 Flowchart Proses Alert + Logging Data Ke Dashboard

Gambar tersebut menampilkan flowchart yang menggambarkan alur proses *Alert* dan *Logging Data* ke dashboard pada subsistem deteksi kehilangan dan kesalahan penempatan barang. Tahapan ini berfungsi sebagai mekanisme respons sistem ketika teridentifikasi aktivitas abnormal yang berpotensi mengindikasikan terjadinya kehilangan atau kesalahan penempatan produk pada rak.

Proses diawali ketika sistem berada dalam kondisi aktif. Pada tahap ini, sistem melakukan akuisisi data visual secara berkelanjutan menggunakan kamera yang terpasang di area rak. Data visual yang diperoleh menjadi dasar utama dalam pemantauan aktivitas di sekitar area penyimpanan produk.

Selanjutnya, sistem menerima hasil klasifikasi aktivitas dari modul klasifikasi berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN). Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan apakah aktivitas yang terdeteksi tergolong aktivitas normal atau aktivitas abnormal berdasarkan pola pergerakan manusia serta interaksinya dengan rak.

Berdasarkan hasil klasifikasi, sistem kemudian melakukan pengambilan keputusan untuk menentukan keberadaan aktivitas abnormal. Apabila aktivitas yang terdeteksi dinyatakan normal, sistem tidak melakukan tindakan lanjutan dan kembali ke proses pemantauan dengan melanjutkan akuisisi data visual secara berulang.

Sebaliknya, apabila hasil keputusan menunjukkan adanya aktivitas abnormal, sistem akan melanjutkan ke tahap aktivasi peringatan (*alert*). Pada tahap ini, sistem mengaktifkan mekanisme peringatan sebagai respons awal, seperti notifikasi pada dashboard atau indikator visual, guna memberikan informasi kepada pengelola toko terkait potensi kejadian kehilangan atau kesalahan penempatan barang.

Setelah peringatan diaktifkan, sistem melakukan pencatatan data kejadian. Informasi yang dicatat meliputi waktu kejadian (*timestamp*), jenis aktivitas abnormal, lokasi rak, serta citra hasil deteksi sebagai bukti visual. Data tersebut selanjutnya dikirimkan dan ditampilkan pada dashboard pemantauan secara real-time untuk memudahkan proses monitoring dan tindak lanjut.

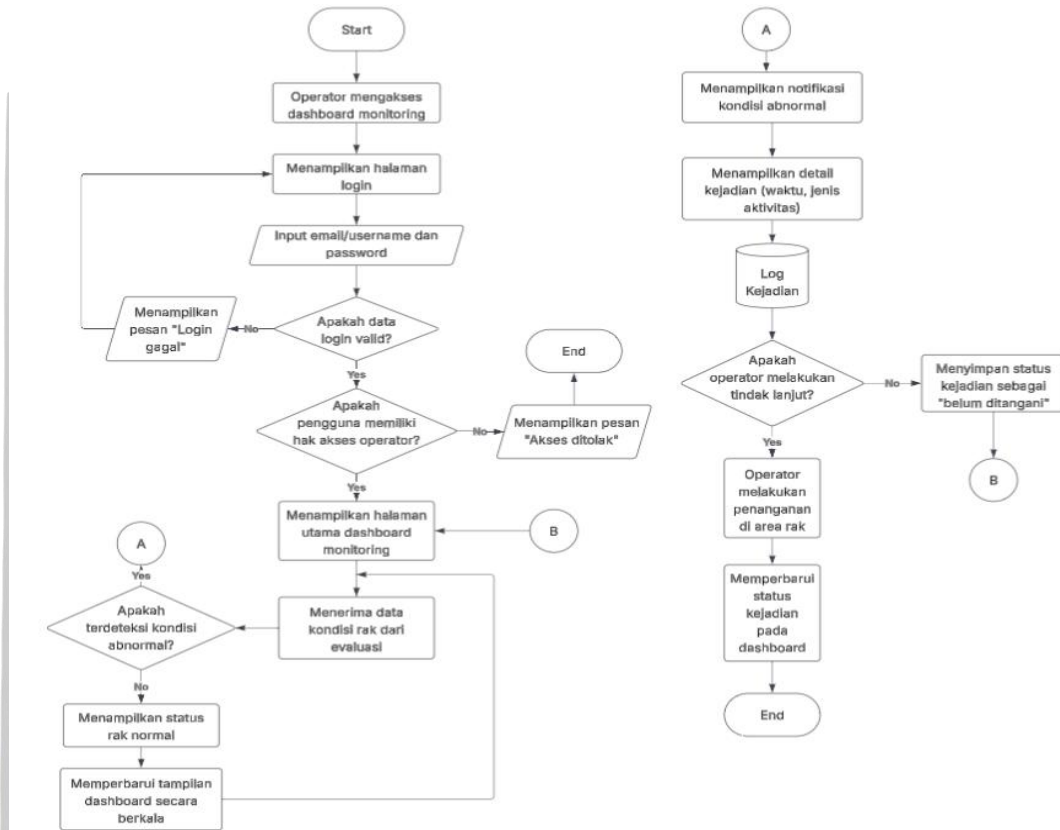
Selain ditampilkan pada dashboard, seluruh data kejadian juga disimpan ke dalam basis data terpusat melalui proses *logging*. Proses ini memastikan bahwa setiap aktivitas abnormal terdokumentasi secara permanen dan terstruktur, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai arsip kejadian, bahan evaluasi operasional, serta analisis kinerja sistem di masa mendatang.

Setelah proses *logging* selesai, alur mencapai tahap akhir dan sistem kembali ke mode pemantauan untuk melanjutkan deteksi aktivitas berikutnya secara kontinu.

3.2.1.9 Proses Proses Monitoring dan Notifikasi melalui *Dashboard*

Proses ini menjelaskan alur kerja sistem dalam menyajikan hasil pemantauan kondisi rak kepada operator toko melalui dashboard monitoring. Dashboard

berfungsi sebagai antarmuka utama yang memungkinkan operator untuk mengakses informasi kondisi rak secara real-time, menerima notifikasi apabila terdeteksi kondisi abnormal, serta melakukan tindak lanjut terhadap kejadian yang terjadi di area rak.



Gambar 3.22 Flowchart Proses Monitoring dan Notifikasi melalui *dashboard*

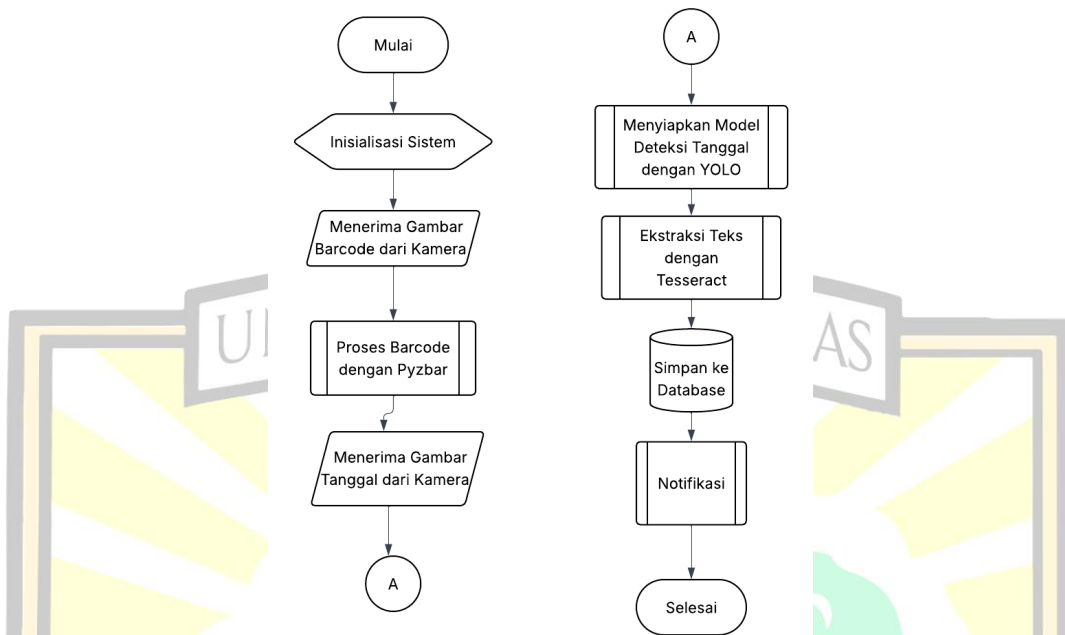
Gambar diatas merupakan flowchart proses monitoring dan notifikasi sistem melalui dashboard yang dimana alur proses ini diawali ketika operator mengakses dashboard monitoring. Sistem kemudian menampilkan halaman login sebagai mekanisme autentikasi pengguna. Operator diminta untuk memasukkan email atau username serta kata sandi. Data login yang dimasukkan akan divalidasi oleh sistem. Apabila data login tidak valid, sistem akan menampilkan pesan kesalahan dan mengarahkan kembali operator ke halaman login. Jika data login valid, sistem selanjutnya memeriksa hak akses pengguna. Apabila pengguna tidak memiliki hak akses sebagai operator, sistem akan menampilkan pesan “akses ditolak” dan proses dihentikan. Sebaliknya, apabila pengguna memiliki hak akses operator, sistem akan menampilkan halaman utama dashboard monitoring.

Setelah berhasil masuk ke dashboard, sistem secara kontinu menerima data kondisi rak hasil evaluasi dari subsistem analisis. Sistem kemudian melakukan pengecekan apakah terdapat kondisi abnormal pada rak. Jika tidak terdeteksi kondisi abnormal, dashboard akan menampilkan status rak dalam kondisi normal dan memperbarui tampilan secara berkala sesuai interval pemantauan. Apabila sistem mendeteksi kondisi abnormal, dashboard akan menampilkan notifikasi peringatan kepada operator. Notifikasi ini disertai dengan informasi detail kejadian, seperti waktu terjadinya kejadian dan jenis aktivitas atau perubahan kondisi rak yang terdeteksi. Setiap kejadian abnormal yang muncul akan dicatat ke dalam sistem log kejadian sebagai arsip dan bahan evaluasi. Setelah notifikasi ditampilkan, sistem memberikan opsi kepada operator untuk melakukan tindak lanjut terhadap kejadian tersebut. Jika operator memutuskan untuk tidak melakukan penanganan, sistem akan menyimpan status kejadian sebagai “belum ditangani” dan mengembalikan tampilan ke halaman utama dashboard monitoring. Status ini tetap tersimpan di dalam sistem untuk dapat ditindaklanjuti di kemudian hari. Jika operator melakukan tindak lanjut, operator akan melakukan penanganan langsung di area rak terkait. Setelah penanganan dilakukan, sistem akan memperbarui status kejadian pada dashboard sehingga mencerminkan kondisi terbaru rak. Proses kemudian diakhiri setelah status kejadian berhasil diperbarui.

Melalui subproses dashboard monitoring ini, sistem mampu memberikan informasi kondisi rak secara *real-time*, mendukung respons cepat terhadap kejadian abnormal, serta menyediakan pencatatan kejadian yang terstruktur untuk keperluan pengawasan operasional toko.

3.2.2 Rancangan Proses Subsistem 2

Rancangan proses menguraikan alur kerja suatu sistem yang melibatkan keterkaitan seluruh elemen agar selaras, dari proses input, proses, hingga ke output. Hal ini perlu diuraikan agar rancangan dapat dievaluasi setiap keterkaitan elemennya. Rancangan proses sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.23 Flowchart Proses Utama Sistem

Gambar 3.22 menjelaskan alur kerja sistem yang dimulai dari inisialisasi komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama terdiri dari Raspberry Pi 4B, Modul Kamera Raspberry Pi, layar TFT Touchscreen, serta pustaka pemrosesan citra yang meliputi pyzbar untuk pembacaan barcode, model YOLO (*You Only Look Once*) untuk deteksi objek area tanggal, dan Tesseract OCR untuk pengenalan karakter optik.

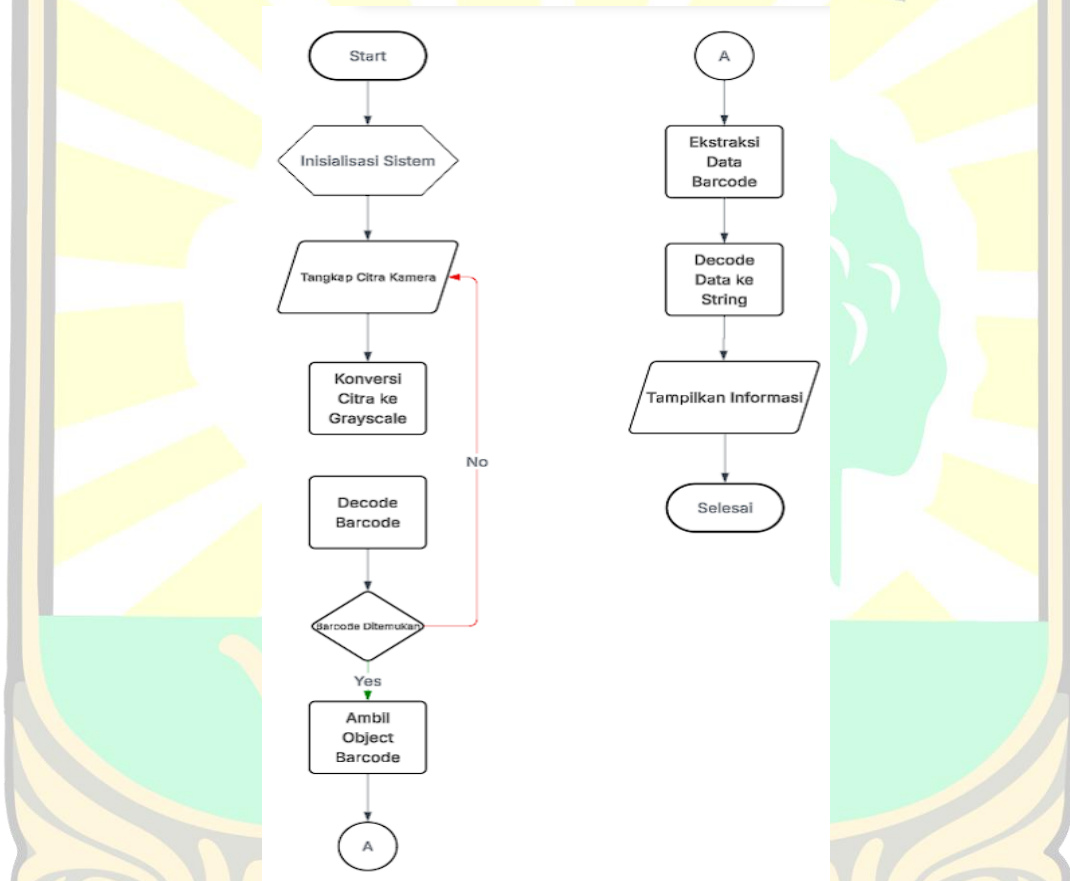
Proses dimulai dengan sistem mengaktifkan kamera untuk mengambil aliran video (*video stream*) secara *real-time*. Citra yang ditangkap diproses melalui dua jalur algoritma. Pertama, pustaka pyzbar memindai bingkai gambar untuk mendeteksi keberadaan barcode. Jika barcode teridentifikasi, sistem akan mengekstraksi data numerik ID produk tersebut.

Selanjutnya, model YOLO yang telah dilatih digunakan untuk melakukan segmentasi gambar guna melokalisasi *Region of Interest* (ROI) yang berisi teks tanggal kedaluwarsa. Setelah area tanggal ditemukan, sistem melakukan *cropping* dan pra-pemrosesan (seperti *thresholding* atau konversi ke *grayscale*) sebelum diserahkan ke Tesseract OCR. Tesseract kemudian menerjemahkan citra visual tersebut menjadi data teks string.

Hasil akhir berupa ID produk dari barcode dan teks tanggal kedaluwarsa akan divalidasi dan ditampilkan pada antarmuka TFT Touchscreen, kemudian disimpan ke dalam basis data inventaris.

3.2.2.1 Rancangan Proses Pemindaian Barcode dengan Pyzbar

Modul ini bertanggung jawab untuk membaca data *barcode* yang terdapat pada kemasan produk. Rancangan proses ini memanfaatkan pustaka pyzbar yang mampu membaca berbagai format *barcode* satu dimensi (1D) maupun dua dimensi (2D).



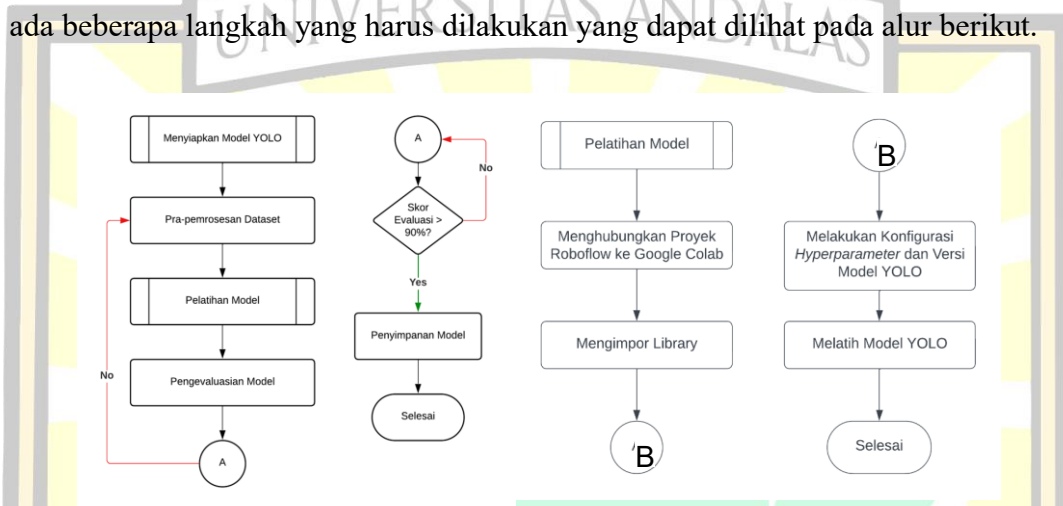
Gambar 3.24 Flowchart Proses Pemindaian Barcode

Proses dimulai dengan pengambilan citra dari kamera. Citra tersebut kemudian diubah menjadi format *grayscale* untuk memudahkan proses binarisasi dan deteksi tepi oleh algoritma pyzbar. Setelah *barcode* terdeteksi dan didekode, sistem akan mendapatkan data *string* yang berisi informasi produk (misalnya SKU atau ID Produk). Jika *barcode* tidak terdeteksi, sistem akan mengulangi proses pengambilan citra atau memberikan notifikasi kepada pengguna.

3.2.2.2 Rancangan Proses Deteksi Area Tanggal dengan YOLO dan Tesseract

Bagian ini merancang bagaimana sistem mengenali letak tanggal kedaluwarsa pada kemasan produk yang bervariasi. Sama seperti pendekatan sebelumnya, proses ini dibagi menjadi tahap penyiapan model dan tahap inferensi.

Sebelum model pelatihan bisa diterapkan untuk melakukan deteksi area tanggal, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yang dapat dilihat pada alur berikut.



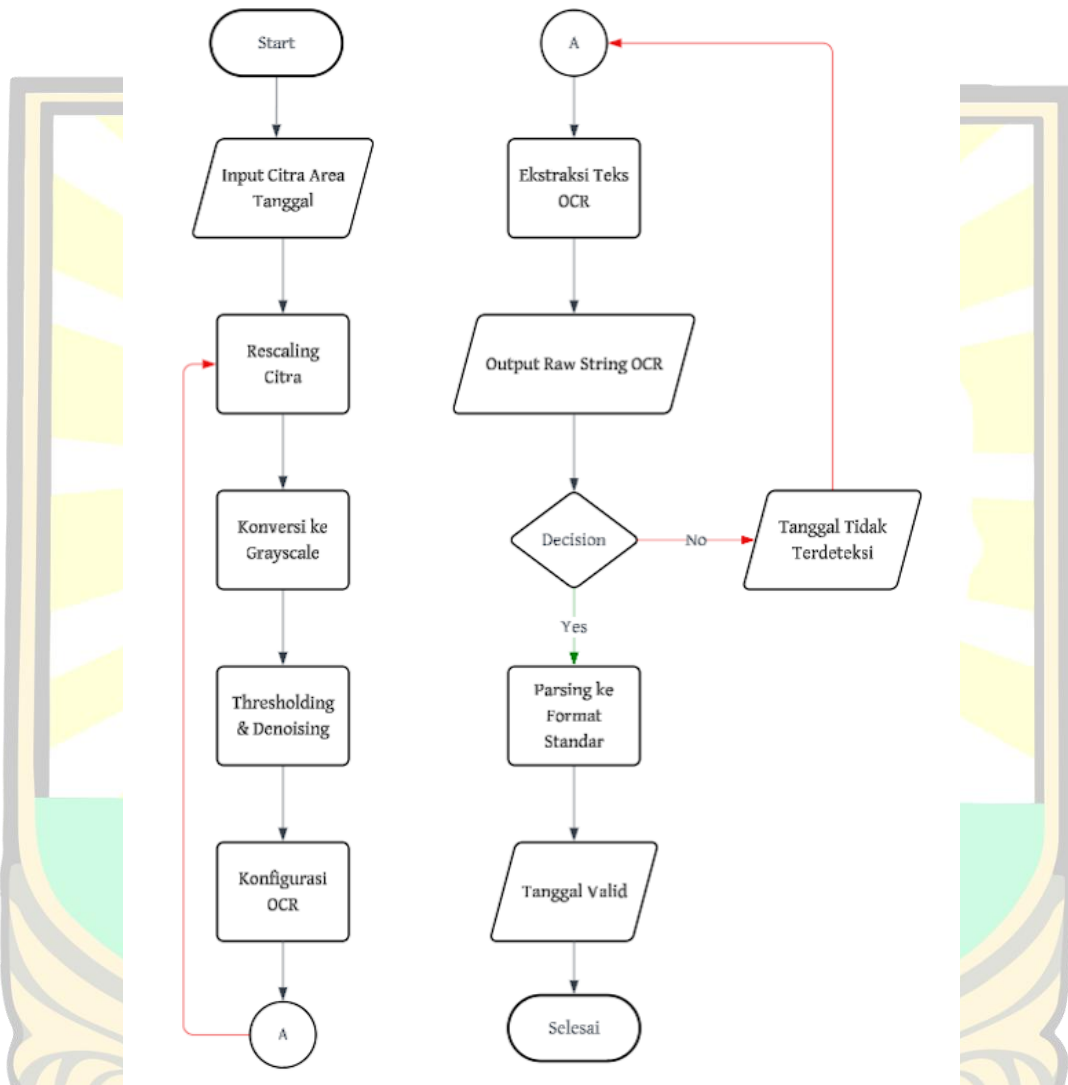
Gambar 3.25 Flowchart Menyiapkan Model Deteksi Tanggal dengan YOLO

Hal yang dilakukan pertama kali adalah pengumpulan *dataset* citra kemasan produk yang memuat tanggal kedaluwarsa. *Dataset* kemudian diberi anotasi (*labelling*) menggunakan *bounding box* pada area tanggal. Anotasi disimpan dalam format yang kompatibel dengan YOLO (biasanya .txt).

Untuk meningkatkan kinerja model, dilakukan augmentasi data seperti rotasi, penyesuaian kecerahan (*brightness*), dan *blurring* untuk mensimulasikan kondisi pengambilan gambar yang tidak ideal. Model YOLO kemudian dilatih (*training*) dengan *hyperparameter* yang disesuaikan (seperti *epoch* dan *batch size*) hingga mencapai nilai *loss* yang rendah dan akurasi (mAP) yang memadai.

Setelah model dilatih, model di-*deploy* ke dalam sistem utama. Saat citra masuk, YOLO akan memprediksi koordinat *bounding box* di mana teks tanggal berada. Area di dalam kotak pembatas ini kemudian di-*crop* (dipotong) dari citra asli untuk diproses lebih lanjut oleh modul OCR. Pendekatan ini dilakukan untuk meminimalisir *noise* dari teks lain pada kemasan yang tidak relevan.

Setelah area tanggal didapatkan dari proses YOLO, tahap selanjutnya adalah menerjemahkan citra potongan tersebut menjadi data teks yang dapat dibaca oleh komputer menggunakan Tesseract OCR.



Gambar 3.26 Flowchart Proses Ekstraksi Teks dengan Tesseract

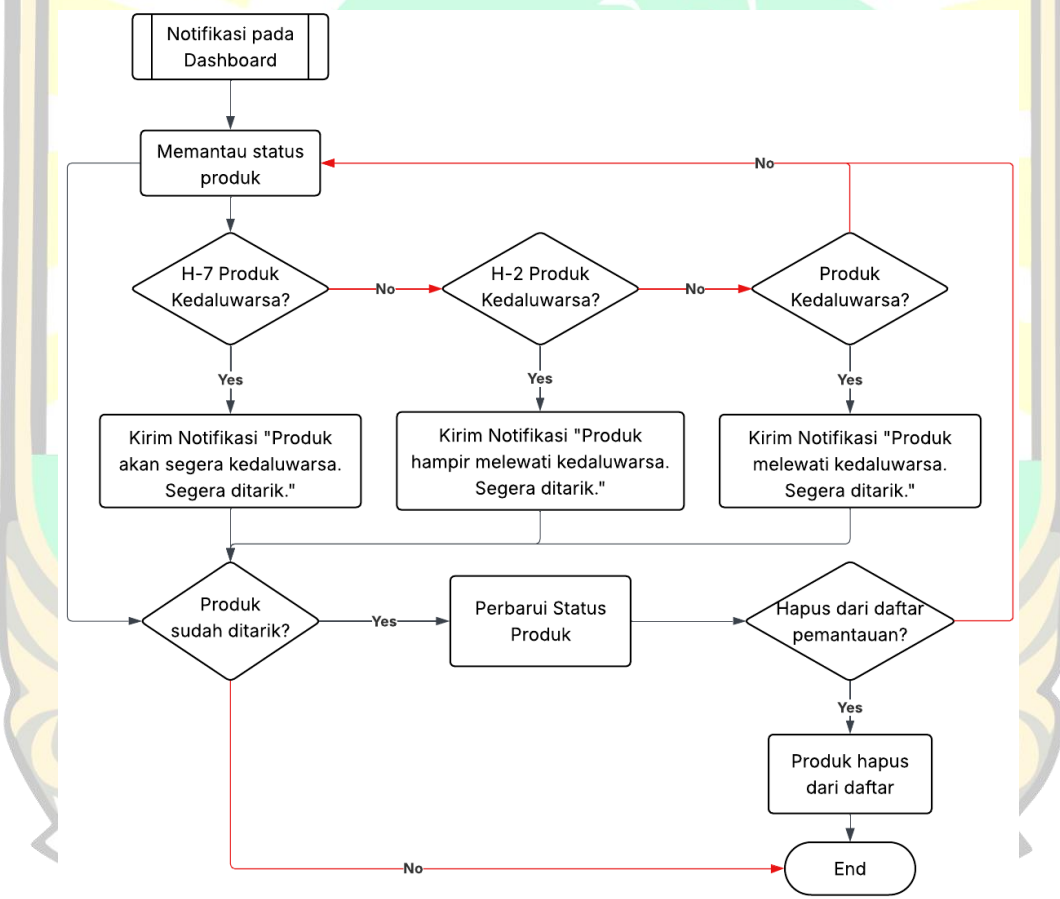
Gambar hasil *crop* dari YOLO seringkali masih memiliki *noise* atau pencahayaan yang tidak rata. Oleh karena itu, dirancang tahapan pra-pemrosesan (*pre-processing*) citra sebelum masuk ke Tesseract, yang meliputi:

1. *Rescaling*: Memperbesar resolusi citra potongan untuk meningkatkan akurasi pembacaan karakter kecil.

2. *Grayscale & Thresholding*: Mengubah citra menjadi hitam-putih (biner) untuk mempertegas bentuk karakter angka dan huruf.
3. *Denoising*: Menghilangkan bintik-bintik *noise* yang dapat mengganggu OCR.

Setelah pra-pemrosesan, Tesseract akan mengekstraksi teks. Hasil ekstraksi mentah (*raw string*) kemudian akan melalui proses *parsing* untuk validasi format tanggal (misalnya format DD/MM/YYYY atau YYYY/MM/DD). Jika format valid, sistem akan membandingkan tanggal tersebut dengan tanggal hari ini untuk menentukan status kedaluwarsa.

3.2.2.3 Rancangan Proses Notifikasi



Gambar 3.27 Flowchart Notifikasi Kedaluwarsa pada Produk

Pada Gambar 3.27, Flowchart ini menggambarkan proses pemantauan status makanan dalam kulkas dan pengiriman notifikasi kepada pengguna melalui aplikasi. Sistem secara berkala memantau stok makanan dan menentukan apakah makanan mendekati batas kadaluarsa pada H-7, H-2, atau telah melewati masa

simpan optimal. Jika makanan mendekati kadaluarsa, sistem menampilkan peringatan kepada pengguna untuk segera menarik produk. Setelah notifikasi dikirimkan, sistem mengecek apakah makanan sudah dikeluarkan. Jika produk telah dikeluarkan, statusnya diperbarui, dan pengguna diberikan opsi untuk menghapusnya dari daftar pemantauan. Jika makanan masih tersimpan, sistem akan terus memantau dan memberikan notifikasi lanjutan sesuai dengan statusnya.

3.2.3 Rancangan Proses Subsistem 3

Subsistem 3 dirancang untuk mengelola dan memantau ketersediaan stok barang di toko kelontong secara otomatis dan berkelanjutan. Subsistem ini berfungsi sebagai pusat pencatatan stok dengan kemampuan identifikasi barang, pencatatan transaksi barang masuk dan keluar, serta pembaruan data stok secara real-time. Proses identifikasi barang dilakukan menggunakan teknologi UHF RFID, di mana setiap produk dilengkapi dengan tag RFID sebagai identitas unik. Tag RFID dibaca oleh UHF RFID Reader Electron HW-VX6330K, kemudian data hasil pembacaan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui modul konverter MAX3232 RS232 untuk diproses lebih lanjut. ESP32 mengelola data transaksi barang masuk dan barang keluar serta mengirimkan data tersebut ke basis data terpusat melalui koneksi jaringan. Pengelolaan stok menerapkan prinsip First In First Out (FIFO) untuk memastikan barang dengan waktu masuk lebih awal diprioritaskan untuk dikeluarkan terlebih dahulu.

Sebagai umpan balik langsung di lokasi penyimpanan, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai notifikasi audio dan LCD I2C sebagai notifikasi visual. Buzzer memberikan indikasi bahwa proses pembacaan atau transaksi telah berhasil, sedangkan LCD menampilkan informasi singkat terkait status barang dan perubahan jumlah stok. Setiap transaksi yang terjadi akan memperbarui data stok pada basis data secara otomatis, sehingga informasi yang ditampilkan pada antarmuka website selalu mencerminkan kondisi stok terkini. Dengan rancangan ini, Subsistem 3 mendukung proses perhitungan stok yang lebih cepat, akurat, dan mudah diverifikasi di lingkungan toko kelontong.



Gambar 3.28 Flowchart Rancangan proses Secara Umum

Berdasarkan Gambar 3.28 diagram alur Subsistem 3 menggambarkan proses pengelolaan stok barang berbasis UHF RFID. Proses dimulai dengan inisialisasi perangkat UHF RFID Reader, ESP32, modul MAX3232 RS232, LCD I2C, dan buzzer. Selanjutnya, sistem melakukan pengecekan koneksi ESP32 ke jaringan WiFi. Apabila koneksi berhasil, sistem terhubung ke server dan basis data sehingga data stok dapat dikelola dan ditampilkan melalui website.

Setelah koneksi berhasil, sistem berada pada kondisi *standby* untuk menunggu pembacaan tag RFID. Ketika tag RFID terdeteksi, data identitas tag dikirimkan ke ESP32 untuk diproses dan dicek ke basis data. Jika tag RFID belum terdaftar, sistem akan masuk ke proses pendaftaran barang, di mana pengguna melengkapi informasi barang berupa ID barang, kode barang, dan nama barang. Data tersebut kemudian

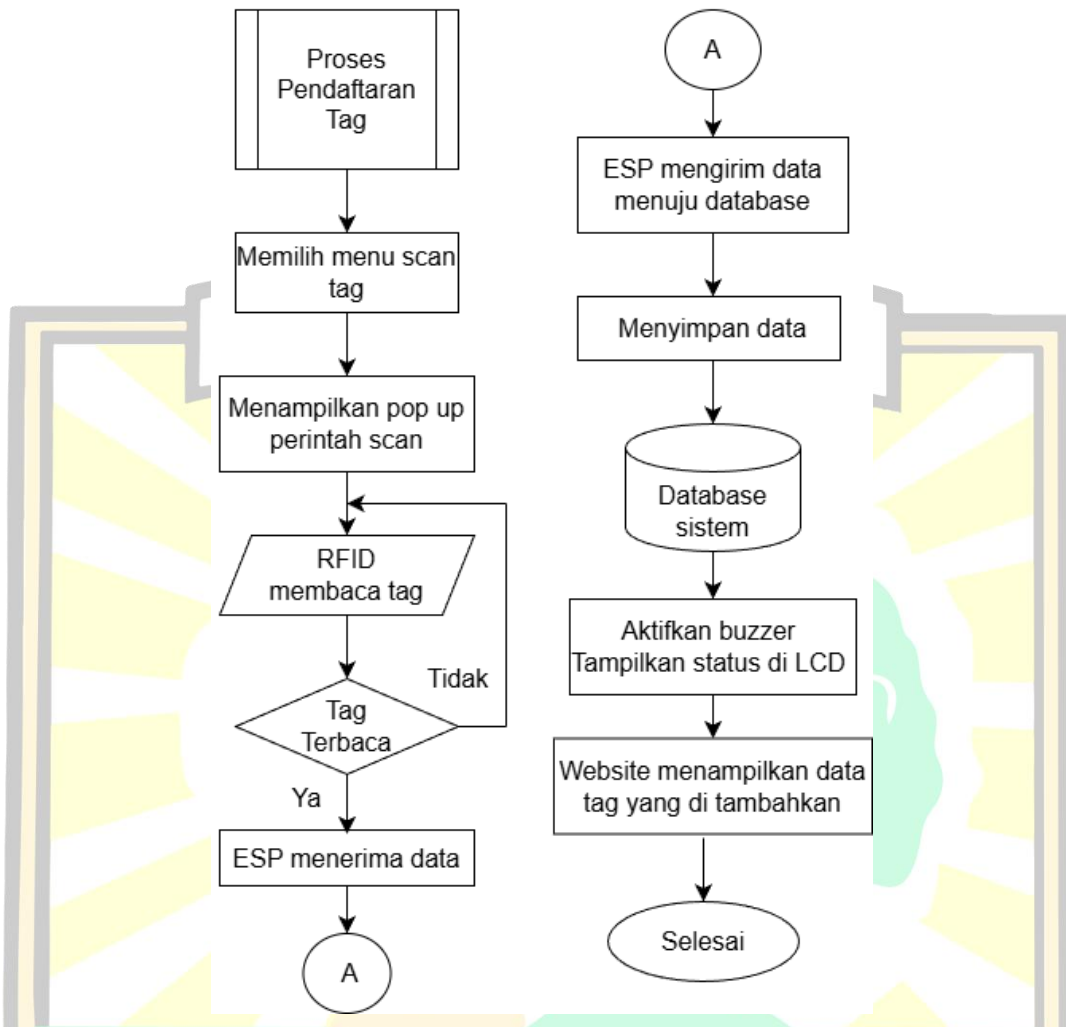
disimpan ke dalam basis data dan sistem memberikan notifikasi melalui LCD dan buzzer.

Apabila tag RFID telah terdaftar, sistem melanjutkan ke proses transaksi barang. Terdapat dua jenis transaksi, yaitu transaksi barang masuk dan transaksi barang keluar. Pada transaksi barang masuk, sistem menambahkan jumlah stok serta mencatat waktu masuk barang. Pada transaksi barang keluar, sistem menerapkan metode *First In First Out* (FIFO) dengan mengurangi stok berdasarkan urutan waktu masuk barang. Setelah transaksi selesai, data stok diperbarui secara otomatis pada basis data dan ditampilkan secara *real-time* pada website, disertai notifikasi melalui LCD dan buzzer. Dengan alur tersebut, Subsistem 3 mampu mendukung pengelolaan stok barang secara cepat, akurat, dan terintegrasi.

3.2.3.1 Subproses Pendaftaran Tag

Tujuan pembuatan proses pendaftaran tag adalah untuk memberikan identitas unik pada setiap barang yang dikelola dalam sistem melalui penggunaan tag UHF RFID. Proses ini bertujuan agar setiap tag RFID dapat terhubung dengan informasi data barang yang tersimpan di dalam basis data, seperti ID barang, kode barang, dan nama barang.

Dengan adanya proses pendaftaran tag, sistem mampu melakukan identifikasi barang secara otomatis, akurat, dan konsisten pada saat pengecekan stok maupun transaksi barang masuk dan keluar. Selain itu, proses ini memastikan bahwa data barang yang tersimpan pada database selalu terstruktur dan siap digunakan dalam proses pengelolaan stok

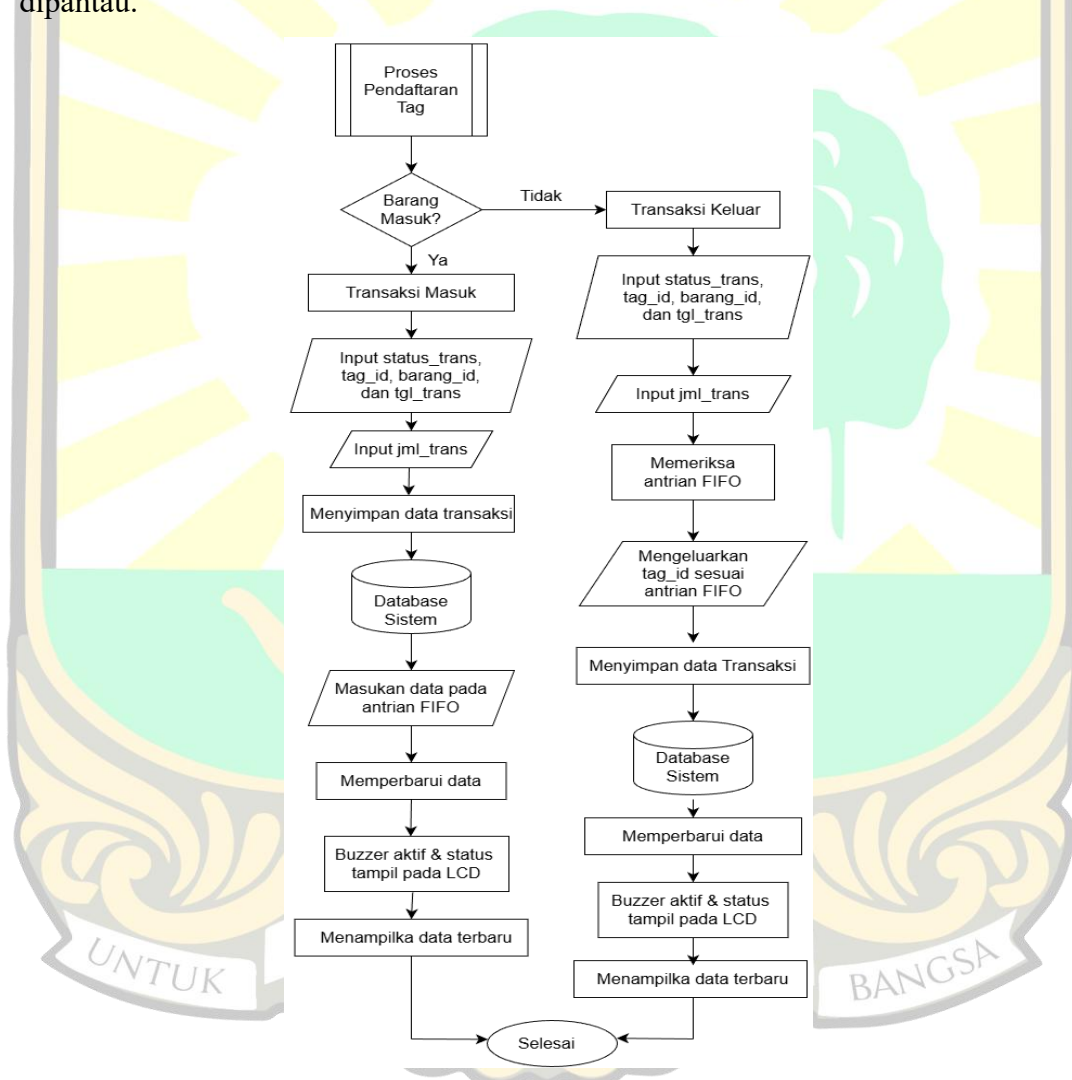


Gambar 3.29 Flowchart Subproses Pendaftaran Tag

Pada subproses pendaftaran tag seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.29, pengguna memilih menu *scan tag* pada laman tag di website, kemudian sistem menampilkan *pop-up* perintah pemindaian. RFID reader membaca tag dan data hasil pembacaan diterima oleh ESP32 untuk dikirim dan disimpan ke database sistem. Setelah data berhasil tersimpan, buzzer diaktifkan dan LCD menampilkan status keberhasilan sebagai notifikasi langsung. Selanjutnya, website menampilkan pemberitahuan “tag baru ditambahkan” dan memperbarui data tag. Pengguna kemudian dapat melengkapi informasi barang melalui menu aksi *modify* dan melanjutkan ke proses transaksi serta pengecekan barang.

3.2.3.2 Subproses Transaksi Barang

Tujuan pembuatan proses transaksi barang adalah untuk mencatat dan mengelola pergerakan barang masuk dan barang keluar secara otomatis dan terintegrasi dalam sistem. Proses ini bertujuan agar setiap perubahan jumlah stok dapat tercatat secara akurat pada basis data serta diperbarui secara *real-time* pada website. Selain itu, proses transaksi barang menerapkan metode *First In First Out* (FIFO) untuk memastikan barang yang masuk lebih awal diprioritaskan untuk dikeluarkan terlebih dahulu, sehingga pengelolaan stok menjadi lebih terkontrol dan mudah dipantau.



Gambar 3.30 Flowchart subproses transaksi Barang

Pada Gambar 3.30 di atas menampilkan subproses transaksi barang. Setelah proses pendaftaran tag dan pelengkapan informasi data barang dilakukan, pengguna dapat melanjutkan ke proses transaksi barang. Pada proses ini terdapat dua kondisi, yaitu

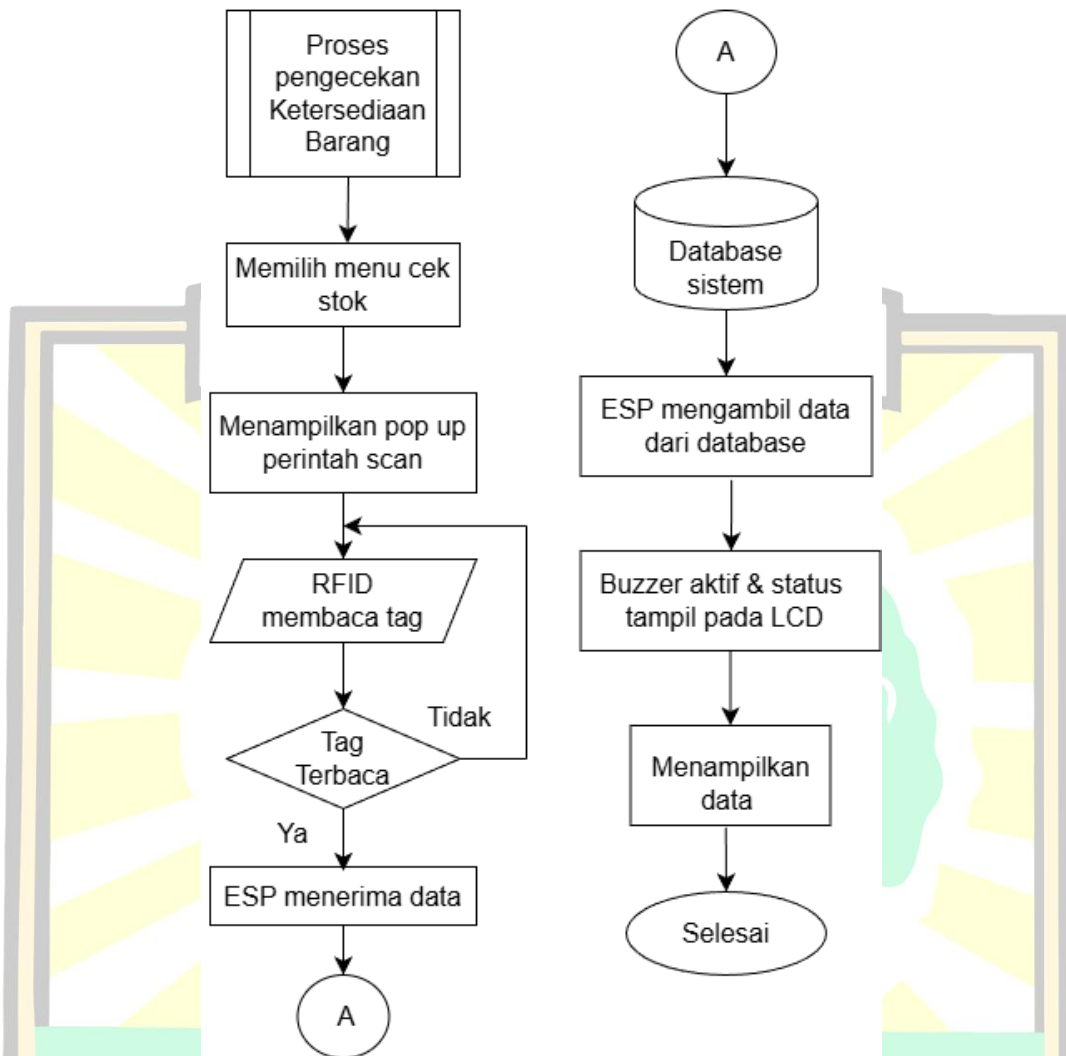
kondisi untuk melakukan transaksi barang masuk dan kondisi untuk melakukan transaksi barang keluar.

Jika pengguna akan melakukan transaksi barang masuk, maka pengguna memilih transaksi barang masuk dan sistem akan mengalihkan ke menu proses transaksi barang masuk. Pada proses ini, pengguna melakukan input data transaksi yang meliputi *status_trans*, *tag_id*, *barang_id*, *tgl_trans*, dan *jml_trans*. Selanjutnya, data transaksi tersebut disimpan ke dalam database sistem dan diproses untuk dimasukkan ke dalam antrean FIFO. Pada antrean FIFO ini, tag barang diurutkan berdasarkan waktu transaksi masuk paling awal sehingga dapat dikeluarkan terlebih dahulu sesuai dengan prinsip *First In First Out*. Setelah itu, sistem memperbarui data stok dan menampilkan data transaksi terbaru pada website.

Jika pengguna akan melakukan transaksi barang keluar, maka pengguna memilih transaksi barang keluar dan sistem akan mengalihkan ke menu proses transaksi barang keluar. Pada proses ini, pengguna melakukan input data transaksi berupa *status_trans*, *barang_id*, *tgl_trans*, dan *jml_trans*. Selanjutnya, sistem akan memeriksa antrean FIFO berdasarkan kelompok *barang_id* yang dipilih dan secara otomatis menentukan serta mengeluarkan *tag_id* yang paling awal masuk. Data transaksi kemudian disimpan ke dalam database sistem, data stok diperbarui, dan hasil transaksi ditampilkan pada website. Setelah seluruh proses transaksi selesai, sistem mengaktifkan buzzer dan menampilkan status pada LCD sebagai indikator keberhasilan proses transaksi.

3.2.3.3 Subproses Pengecekan Ketersediaan Stok Baranng

Tujuan pembuatan proses pengecekan ketersediaan stok adalah untuk mengetahui jumlah dan kondisi stok barang yang tersedia secara akurat dan *real-time* dalam sistem. Proses ini bertujuan agar pengguna dapat memantau ketersediaan barang berdasarkan data transaksi barang masuk dan barang keluar yang telah tercatat pada database. Dengan adanya proses pengecekan ketersediaan stok, sistem mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan persediaan barang.



Gambar 3.31 Flowchart Subproses ketersediaan Stok Barang

Pada Gambar 3.27 ditampilkan subproses pengecekan ketersediaan barang. Proses ini dilakukan untuk mengetahui kondisi stok barang setelah adanya proses transaksi barang masuk maupun barang keluar. Untuk melakukan pengecekan ketersediaan barang, pengguna memilih menu *cek stok* pada laman barang di website, kemudian sistem akan menampilkan *pop-up* berupa perintah untuk melakukan pemindaian tag.

Selanjutnya, RFID reader akan membaca tag RFID yang dipindai. Apabila tag berhasil terbaca, data hasil pembacaan akan diterima oleh ESP32 dan sistem akan terhubung dengan database untuk mengambil data barang yang sesuai. Setelah data berhasil diperoleh, sistem memberikan umpan balik berupa aktivasi buzzer dan menampilkan status pada LCD sebagai indikator bahwa proses pengecekan berhasil

dilakukan. Informasi ketersediaan stok barang kemudian ditampilkan pada website sesuai dengan data yang tersimpan pada database. Setelah proses pengecekan selesai, sistem mengakhiri proses.

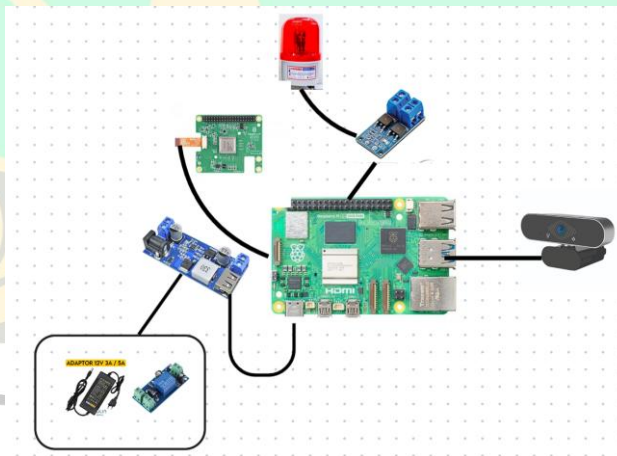
3.3 Rancangan Detail Komponen Proses

3.3.1 Rancangan Perangkat Keras

Rancangan sistem ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu rancangan komponen perangkat keras dan rancangan komponen perangkat lunak, yang masing-masing dijelaskan sebagai berikut.

3.3.1.1 Rancangan Perangkat Keras Subsistem 1

Rancangan perangkat keras Subsistem 1 bertujuan merealisasikan fungsi pengawasan rak secara otomatis dalam mendeteksi kehilangan dan kesalahan penempatan produk. Rancangan ini meliputi pemilihan dan integrasi komponen fisik yang mendukung akuisisi data visual, pemrosesan kecerdasan buatan, serta mekanisme peringatan dan pencatatan kejadian secara real-time. Perangkat keras yang digunakan mencakup Raspberry Pi 5 sebagai unit pemrosesan utama, kamera sebagai input visual, modul akselerator AI untuk mempercepat inferensi, LED strobo sebagai indikator peringatan, serta sistem catu daya berbasis adaptor DC dan modul pendukung guna menjamin kestabilan operasi sistem.



Gambar 3.32 Rancangan Perangkat Keras Subsistem 1

Rancangan perangkat keras Subsistem 1 difokuskan untuk mendukung deteksi otomatis aktivitas abnormal yang berkaitan dengan kehilangan dan kesalahan penempatan produk pada rak. Subsistem ini menerapkan pendekatan *edge*

computing, di mana seluruh proses akuisisi data visual, pengolahan citra, inferensi kecerdasan buatan, serta pengambilan keputusan dilakukan secara lokal tanpa ketergantungan penuh pada komputasi awan.

Raspberry Pi 5 berfungsi sebagai unit pemrosesan utama yang mengoordinasikan seluruh komponen perangkat keras. Perangkat ini menerima input visual dari kamera eksternal melalui antarmuka USB dan menjalankan proses pra-pemrosesan citra, ekstraksi pose manusia menggunakan MediaPipe, serta klasifikasi aktivitas berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN). Untuk meningkatkan performa inferensi dan menjaga stabilitas sistem, subsistem ini dilengkapi dengan akselerator AI Hailo-8L berkapasitas 13 TOPS sebagai modul percepatan inferensi.

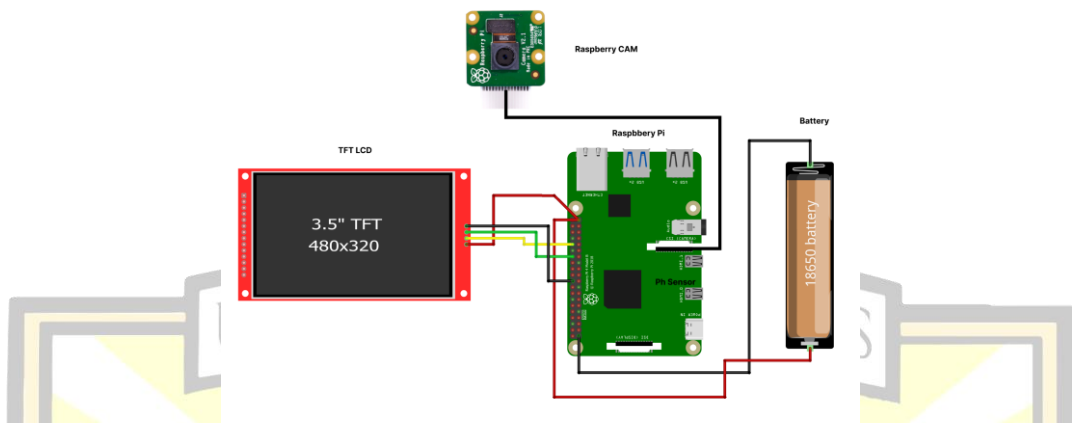
Kamera Xiaovv Webcam Full HD 1080p digunakan sebagai perangkat input visual untuk menangkap aktivitas manusia dan kondisi rak secara kontinu dengan sudut pandang statis. Pemilihan kamera USB memberikan kemudahan integrasi dan kompatibilitas langsung dengan sistem operasi Raspberry Pi.

Sebagai mekanisme peringatan lokal, sistem menggunakan LED strobo 12 V yang dikendalikan melalui modul driver berbasis MOSFET. Raspberry Pi mengirimkan sinyal kendali melalui GPIO, sementara catu daya LED disuplai langsung dari jalur 12 V untuk mencegah beban berlebih pada pin GPIO.

Sistem catu daya menggunakan adaptor DC 12 V 5 A sebagai sumber utama, yang kemudian didistribusikan ke jalur 12 V dan 5,2 V melalui modul *step-down converter*. Untuk menjaga kontinuitas operasi saat terjadi gangguan listrik, subsistem ini dilengkapi UPS Mini DC 12 V sebagai sumber daya cadangan sementara.

3.3.1.2 Rancangan Perangkat Keras Subsistem 2

Dalam perancangan perangkat keras sistem klasifikasi katarak?, komponen diintegrasikan seperti pada Gambar 3.3

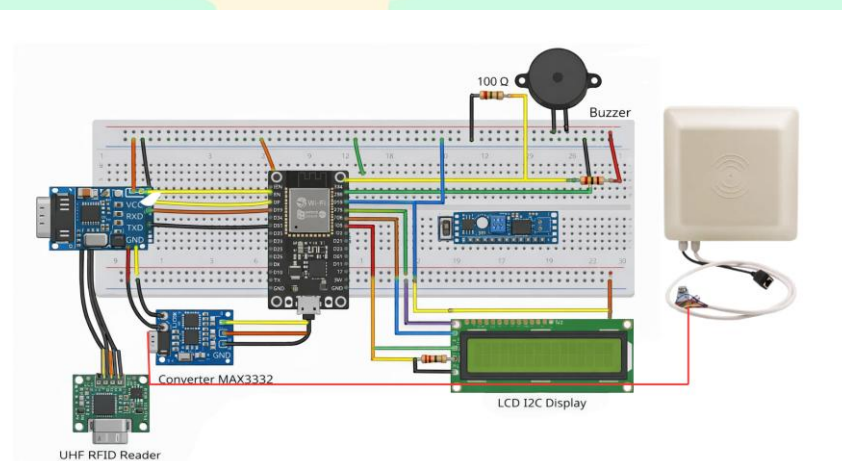


Gambar 3.33 Rancangan Skematik Diagram Perangkat Keras

Gambar 3.32 mengilustrasikan skema interaksi perangkat keras sistem. Layar monitor difungsikan sebagai antarmuka utama bagi pengguna untuk menginisialisasi perintah pengambilan gambar. Berdasarkan perintah tersebut, modul kamera akan mengakuisisi data visual dari objek target. Data citra kemudian diproses secara komputasi oleh Raspberry Pi. Untuk mendukung mobilitas, suplai daya sistem bersumber dari baterai yang diatur oleh *Battery Shield* dan disalurkan melalui *port* USB Type-C. Hasil akhir dari pemrosesan kemudian divisualisasikan kembali pada layar monitor.

3.3.1.3 Rancangan Perangkat Keras Subsistem 3

Berikut ditampilkan rancangan perangkat keras berupa skematik yang terlihat pada Gambar dibawah ini :



Gambar 3.34 Rancangan Skematik Diagram Perangkat Keras

Rancangan skematik perangkat keras terdiri dari UHF RFID Reader, ESP32, converter MAX3232, LCD I2C, dan buzzer. Seluruh komponen terhubung secara terintegrasi untuk mendukung proses identifikasi barang, transaksi, serta notifikasi sistem.

Komunikasi antara UHF RFID Reader dan ESP32 dilakukan melalui converter MAX3232 yang berfungsi mengubah sinyal komunikasi RS232 dari RFID reader menjadi sinyal logika TTL 3,3 V agar dapat diproses oleh ESP32. Selain itu, LCD I2C digunakan sebagai media notifikasi visual, sedangkan buzzer berfungsi sebagai notifikasi audio untuk menandakan keberhasilan proses pendaftaran tag, transaksi, maupun pengecekan stok.

Tabel 3.1 Rancangan Koneksi Antar Komponen ESP32 dan MAX3232

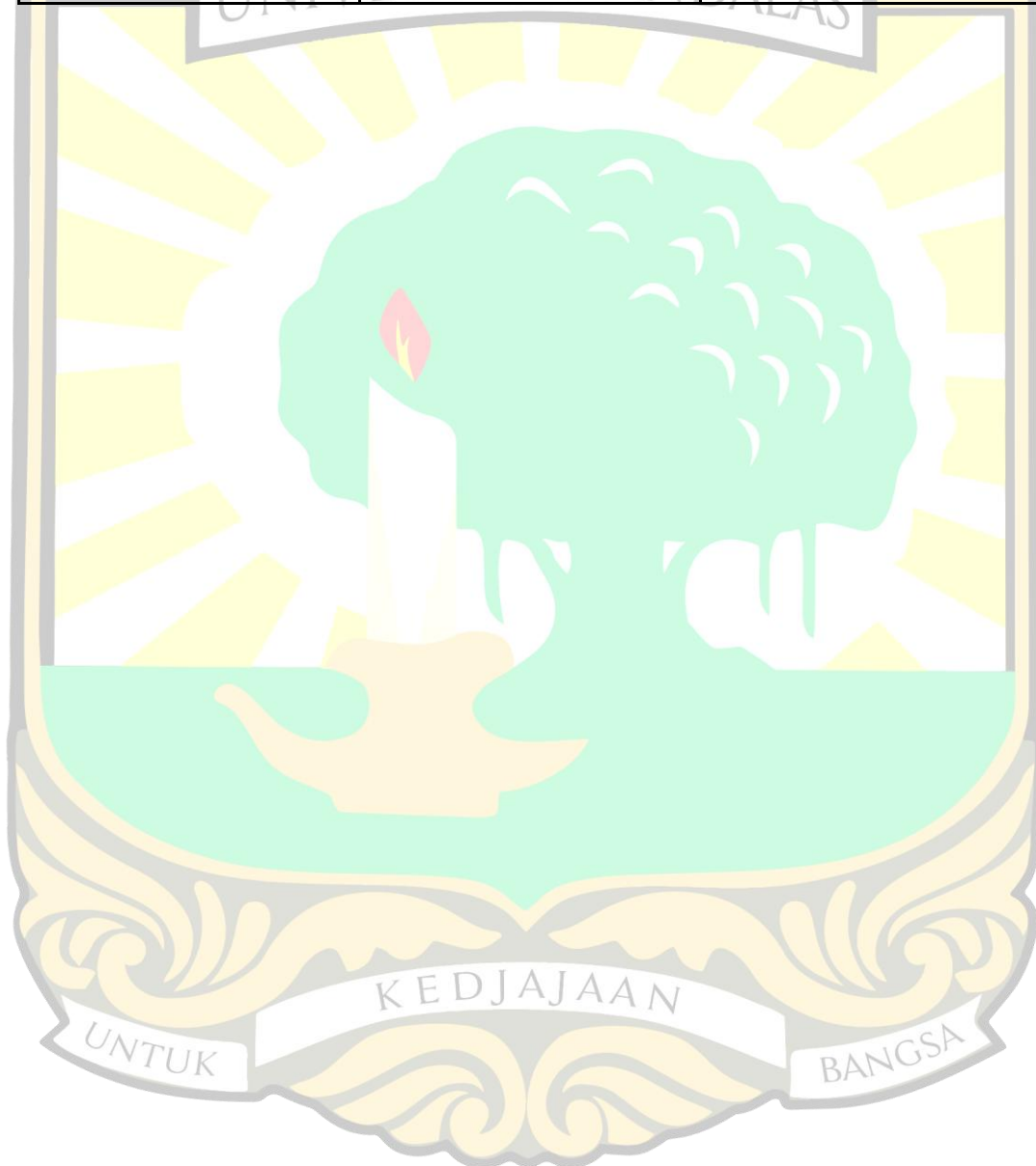
ESP32	MAX3232	Keterangan
Pin 3V3	Pin VCC	Memberikan daya 3,3 V ke modul MAX3232
Pin GND	Pin GND	Menghubungkan ground agar memiliki referensi tegangan yang sama
Pin D19 (RX)	Pin TXD	Menerima data dari RFID reader melalui MAX3232
Pin D18 (TX)	Pin RXD	Mengirim data dari ESP32 ke RFID reader melalui MAX3232

Tabel 3.2 Rancangan Koneksi LCD I2C

ESP32	LCD I2C	Keterangan
Pin 3V3	VCC	Catu daya LCD
Pin GND	GND	Ground
Pin D21	SDA	Jalur data I2C
Pin D22	SCL	Jalur clock I2C

Tabel 3.3 Rancangan Koneksi Buzzer

ESP32	Buzzer	Keterangan
Pin D23	Pin (+)	Kontrol buzzer
Pin GND	Pin (-)	Ground buzzer

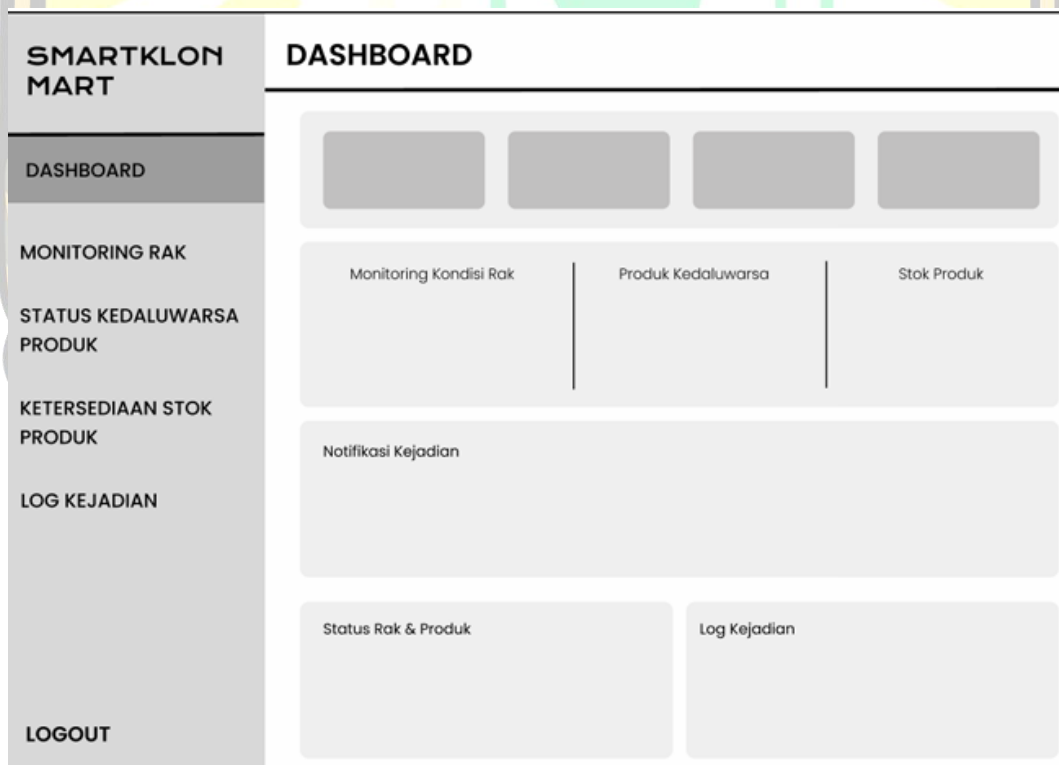


3.3.2 Rancangan Perangkat Lunak

3.3.2.1 Rancangan *User Interface (Antarmuka Pengguna) Dashboard*



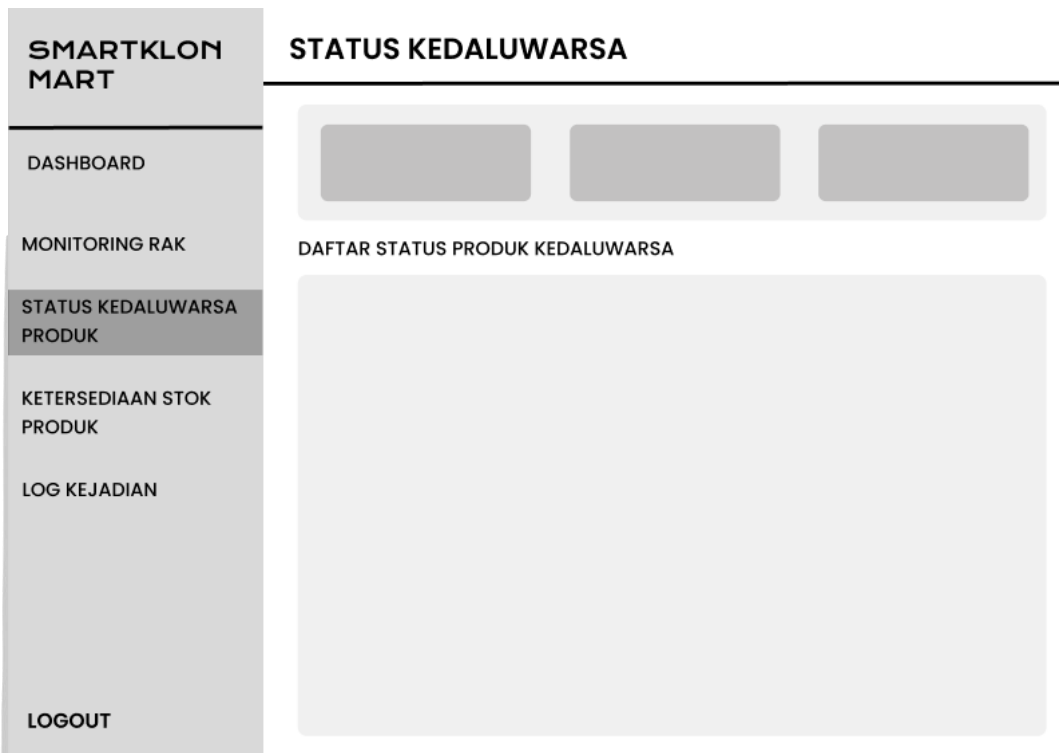
Gambar 3.35 Halaman Login Dashboard



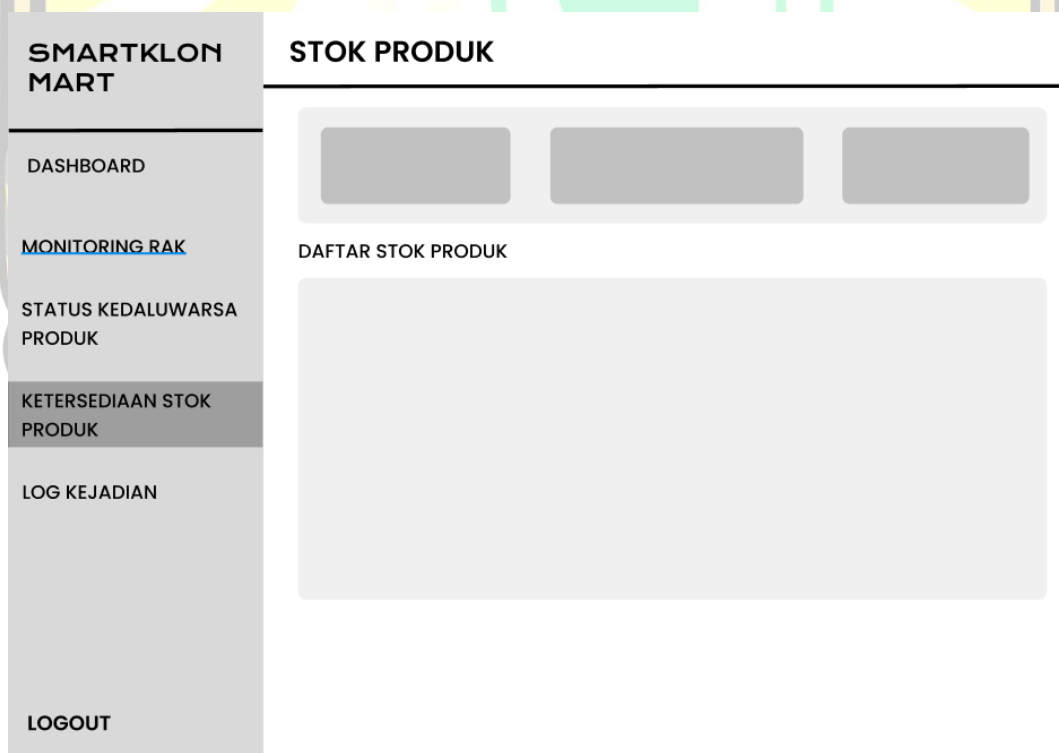
Gambar 3.36 Halaman Utama Dashboard



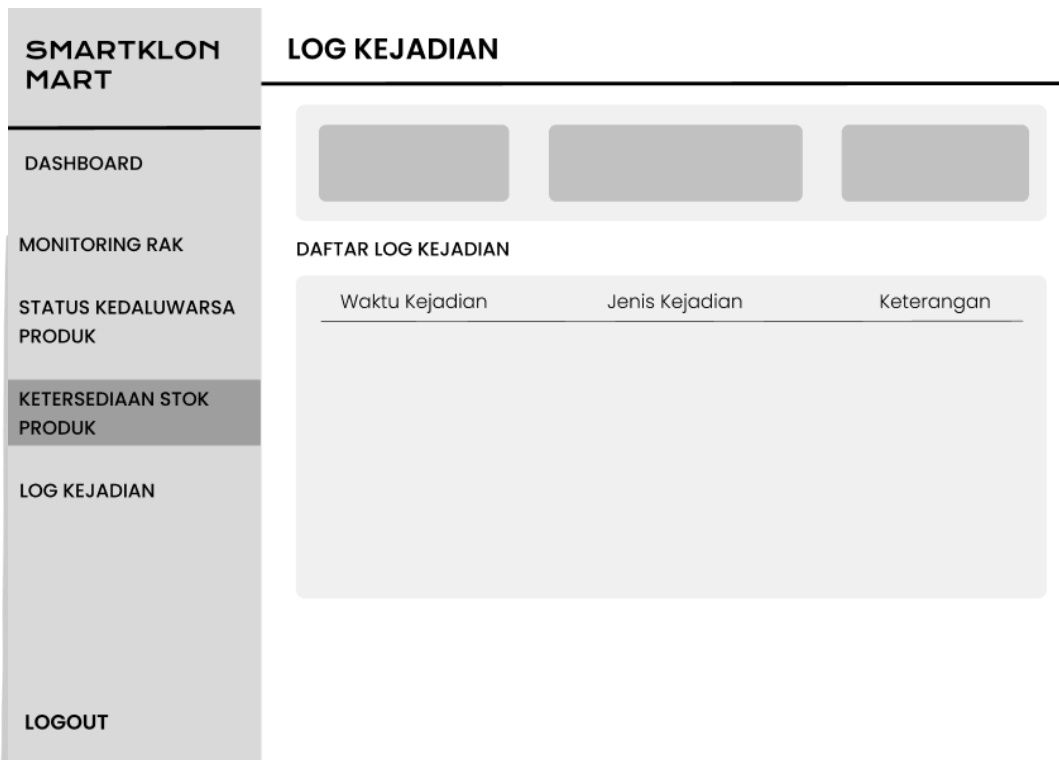
Gambar 3.37 Tampilan dashboard monitoring rak



Gambar 3.38 Tampilan Halaman Status Kedaluwarsa



Gambar 3.39 Tampilan Halaman Stok Produk



Gambar 3.40 Tampilan Log Kejadian

3.3.2.2 Rancangan Database

Sistem yang dikembangkan menggunakan basis data terpusat berbasis PostgreSQL sebagai media penyimpanan seluruh data hasil pemantauan rak secara terintegrasi. Basis data ini menampung data aktivitas manusia, kondisi rak, status produk, serta log kejadian yang dihasilkan oleh sistem pengawasan berbasis *Human Activity Recognition* (HAR). Seluruh data dikirimkan dari perangkat edge melalui *Application Programming Interface* (API) dan disimpan secara terstruktur untuk mendukung proses monitoring, analisis, dan audit keamanan.

Rancangan database sistem Smartklon Mart terdiri atas beberapa tabel yang merepresentasikan entitas utama dan relasinya, meliputi data pengguna (admin), rak, produk, aktivitas manusia, serta log kejadian kehilangan atau kesalahan penempatan produk. Database juga menyimpan metadata pendukung seperti waktu kejadian, jenis aktivitas, tingkat kepercayaan deteksi, dan referensi citra hasil pemrosesan visual.

Dengan struktur database yang terintegrasi, sistem mampu menjaga konsistensi data, mempermudah akses informasi melalui dashboard, serta mendukung pelacakan historis kejadian secara akurat. Rancangan database ini menjadi fondasi utama dalam menjamin keandalan sistem pengawasan rak dan transparansi informasi bagi pengguna.

Tabel 3.4 Tabel Database Pengguna (Admin)

Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_admin	INT	ID unik untuk setiap admin
nama_admin	VARCHAR(100)	Nama lengkap admin
email	VARCHAR(100)	Email admin untuk autentikasi
password	VARCHAR(255)	Kata sandi admin (terenkripsi)
role	VARCHAR(50)	Hak akses pengguna (admin/superadmin)
created_at	TIMESTAMP	Waktu pembuatan akun

Tabel admin digunakan untuk menyimpan data pengguna yang memiliki hak akses ke sistem Smartklon Mart. Kolom id_admin berfungsi sebagai identitas unik pengguna, sedangkan email dan password digunakan untuk proses autentikasi pada dashboard. Kolom role menentukan tingkat hak akses pengguna, sementara created_at mencatat waktu pembuatan akun sebagai bagian dari audit sistem.

Tabel 3.5 Tabel Database Rak

Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_rak	INT	ID unik rak
nama_rak	VARCHAR(50)	Nama atau kode rak

lokasi_rak	VARCHAR(100)	Lokasi fisik rak di toko
status_rak	VARCHAR(30)	Status rak (normal/abnormal)
last_update	TIMESTAMP	Waktu pembaruan terakhir

Tabel rak menyimpan informasi mengenai rak penyimpanan produk yang dipantau oleh sistem. Data pada tabel ini menjadi referensi utama dalam pemantauan kondisi rak, termasuk perubahan status akibat kehilangan atau kesalahan penempatan produk. Kolom last_update digunakan untuk mencatat waktu terakhir kondisi rak diperbarui.

Tabel 3.6 Tabel Database Produk

Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_produk	INT	ID unik produk
barcode	VARCHAR()	
nama_produk	VARCHAR(100)	Nama produk
id_rak	INT	Relasi ke tabel rak
jumlah_stok	INT	Jumlah stok produk
tanggal_kedaluwarsa	DATE	Tanggal kedaluwarsa produk
status_produk	VARCHAR(30)	Status produk (aman/warning/kedaluwarsa)
last_update	TIMESTAMP	Waktu pembaruan data

Tabel produk berfungsi untuk menyimpan data produk yang ditempatkan pada rak, termasuk informasi stok dan tanggal kedaluwarsa. Relasi dengan tabel rak memungkinkan sistem mengetahui posisi produk secara logis. Data ini

dimanfaatkan oleh dashboard untuk menampilkan status stok dan kedaluwarsa secara real-time.

Tabel 3.7 Tabel Database Aktivitas Manusia (HAR)

Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_aktivitas	INT	ID unik aktivitas
jenis_aktivitas	VARCHAR(50)	Jenis aktivitas (normal/mencurigakan)
confidence	FLOAT	Tingkat kepercayaan model
waktu_aktivitas	TIMESTAMP	Waktu aktivitas terdeteksi
frame_image	VARCHAR(255)	Path/URL gambar hasil deteksi

Tabel aktivitas manusia menyimpan hasil klasifikasi aktivitas yang dihasilkan oleh sistem *Human Activity Recognition* (HAR) berbasis MediaPipe dan CNN. Kolom confidence menunjukkan tingkat kepercayaan model terhadap hasil klasifikasi, sedangkan frame_image menyimpan referensi citra sebagai bukti visual pendukung.

Tabel 3.8 Tabel Database Log Kejadian

Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_log	INT	ID unik log kejadian
waktu_kejadian	TIMESTAMP	Waktu kejadian
jenis_kejadian	VARCHAR(50)	Kehilangan / Tertukar

keterangan	TEXT	Deskripsi kejadian
id_rak	INT	Rak terkait kejadian
id_produk	INT	Produk terkait (opsional)
bukti_gambar	VARCHAR(255)	Path/URL gambar kejadian

Tabel log kejadian mencatat seluruh peristiwa penting yang terdeteksi oleh sistem, seperti kehilangan atau kesalahan penempatan produk. Data pada tabel ini digunakan untuk audit keamanan, analisis historis, serta ditampilkan pada menu log kejadian di dashboard Smartklon Mart. Penyimpanan bukti visual memperkuat validitas data sebagai dokumentasi kejadian.

Tabel 3.9 Tabel Database Notifikasi

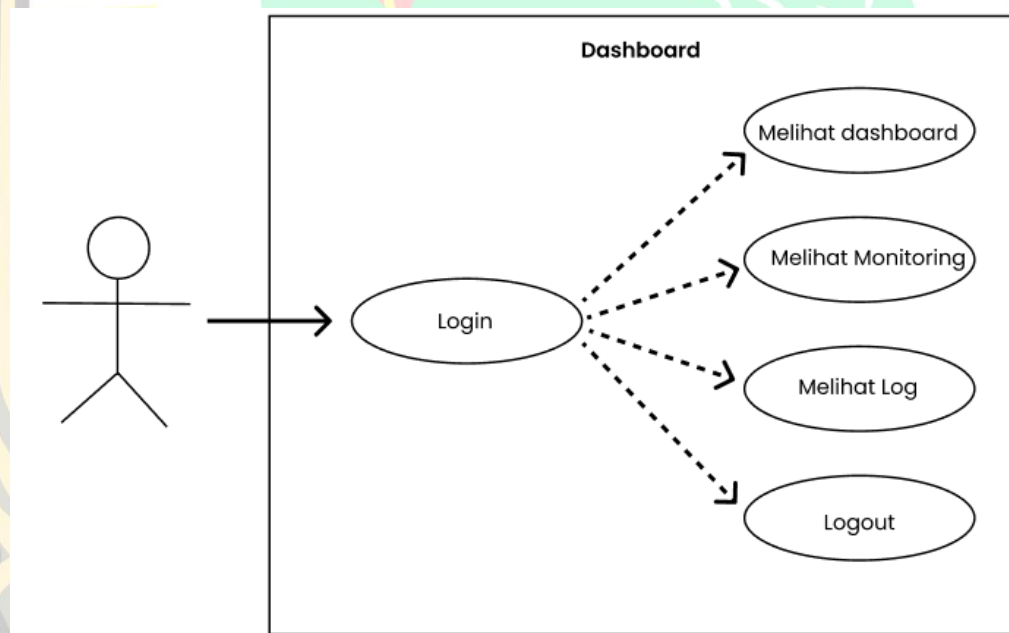
Nama Field	Tipe Data	Keterangan
id_notifikasi	INT	ID unik notifikasi
id_log	INT	Relasi ke log kejadian
status_notifikasi	VARCHAR(30)	Terkirim / Belum
waktu_kirim	TIMESTAMP	Waktu notifikasi dikirim
media	VARCHAR(30)	Dashboard / Web

Tabel notifikasi digunakan untuk menyimpan informasi terkait status pengiriman peringatan kepada pengguna melalui dashboard web. Keberadaan tabel ini memungkinkan sistem memastikan bahwa setiap kejadian penting telah disampaikan kepada admin serta mencegah terjadinya pengiriman notifikasi secara berulang.

3.3.2.3 Use Case Diagram

Sistem menyediakan akses bagi pengguna (admin) untuk melakukan pemantauan dan pengelolaan kondisi rak serta produk secara terintegrasi melalui dashboard berbasis web. Melalui dashboard ini, admin dapat memantau kondisi rak, status stok produk, serta kejadian kehilangan atau kesalahan penempatan, termasuk menerima notifikasi peringatan ketika terdeteksi aktivitas abnormal. Selain itu, sistem memungkinkan peninjauan riwayat log kejadian sebagai bahan evaluasi dan audit keamanan.

Use case diagram yang dirancang menggambarkan interaksi antara aktor Admin dan sistem Smartklon Mart. Admin memiliki hak akses untuk melakukan login, memantau kondisi rak secara real-time, melihat status stok dan kedaluwarsa produk, menerima notifikasi kejadian, serta mengakses log aktivitas yang tersimpan dalam basis data. Diagram use case sistem ditunjukkan pada Gambar 3.35



Gambar 3.41 Use Case Diagram

Pada gambar diatas, Operator berperan sebagai aktor yang dapat melakukan tindakan - tindakan di dalam dashboard seperti aktivitas login, melihat tampilan utama dashboard, melihat log kejadian dan dapat melakukan aktivitas *logout*.

3.4 Rencana Jadwal Pengerjaan

Pada jadwal pengerjaan ini dijelaskan timeline pembuatan laporan berdasarkan waktu pembuatan alat. Rincian durasi penulisan laporan dan proses pembuatan alat dapat dilihat pada tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Rencana Jadwal Pengerjaan

No	Rencana Pengerjaan	Waktu Pelaksanaan
1	Menentukan dan Fiksasi CEP	5 Desember 2025
2	Menentukan dan Fiksasi Solusi	10 Desember - 17 Desember 2025
3	Spesifikasi, Verifikasi, dan Perencanaan Pasar Produk	20 Desember - 29 Desember 2025
4	Rancangan Sistem	31 Desember 2025 - 4 Januari 2026
5	Pembuatan Alat	12 Januari - 4 April 2026
6	Menulis BAB 4	6 April - 12 Mei 2026
7	Menulis BAB 5	15 Mei - 14 Juni 2026

Tabel 3.10 diatas menunjukkan rencana jadwal pengerjaan yang meliputi berbagai tahapan pengerjaan, dimulai dari penentuan CEP hingga penulisan laporan. Setiap tahapan dilengkapi dengan waktu pelaksanaan yang jelas, yang memberikan gambaran mengenai alur kerja dan durasi masing-masing kegiatan dalam pengembangan alat.

No	Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2				
1	Menentukan dan Fiksasi CEP																														
2	Menentukan dan Fiksasi Solusi																														
3	Spesifikasi, Verifikasi dan Perencanaan Pasar Produk																														
4	Rancangan Sistem																														
5	Pembuatan alat																														
6	Menulis BAB 4																														
7	Menulis BAB 5																														

Gambar 3.42 Gantt Chart Kegiatan

Gambar 3.41 menampilkan Gantt Chart yang merepresentasikan perencanaan waktu dan tahapan pelaksanaan kegiatan dalam pengembangan sistem pengawasan rak berbasis *Human Activity Recognition* (HAR). Diagram ini disusun untuk memberikan gambaran kronologis pelaksanaan setiap aktivitas secara sistematis, dimulai dari tahap perumusan konsep hingga penyusunan laporan akhir.

Kegiatan diawali pada bulan November dengan proses penentuan dan penetapan *Customer Engineering Parameters* (CEP). Tahap ini bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pengguna serta batasan sistem yang akan menjadi dasar dalam perancangan solusi. Selanjutnya, pada akhir November hingga awal Desember, dilakukan penentuan dan fiksasi solusi dengan fokus pada pemilihan solusi teknis paling sesuai berdasarkan analisis kebutuhan dan evaluasi berbagai alternatif yang tersedia.

Pada bulan Desember, kegiatan berlanjut pada tahap spesifikasi, verifikasi, dan perencanaan pasar produk. Tahapan ini mencakup penyusunan spesifikasi teknis sistem, validasi kebutuhan fungsional dan nonfungsional, serta analisis kelayakan produk dari sisi implementasi dan penerimaan pengguna. Setelah spesifikasi sistem ditetapkan, tahap perancangan sistem dilaksanakan pada akhir Desember hingga awal Januari, meliputi perancangan arsitektur sistem, alur kerja, serta desain perangkat keras dan perangkat lunak.

Tahap pembuatan alat menjadi fase dengan durasi terpanjang, yaitu dari Januari hingga Maret. Pada fase ini dilakukan implementasi sistem secara menyeluruh, termasuk perakitan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi modul kamera dan kecerdasan buatan, serta pengujian fungsional sistem pengawasan rak.

Setelah proses pembangunan dan pengujian sistem selesai, kegiatan dilanjutkan dengan penulisan Bab IV pada bulan April hingga Mei yang membahas hasil implementasi, pengujian, serta analisis kinerja sistem. Tahap akhir adalah penulisan Bab V pada bulan Mei hingga Juni yang berisi kesimpulan dan saran sebagai penutup laporan tugas akhir.

BAB IV

IMPLEMENTASI

4.1 Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, seluruh rancangan yang telah direncanakan dikembangkan ke dalam bentuk produk yang siap pakai. Tujuan dari tahap ini adalah memastikan produk yang telah dikembangkan berhasil menyelesaikan permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Secara umum, implementasi sistem dibagi menjadi dua bagian, yaitu implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak.

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras

4.1.1.1 Perubahan Implementasi Perangkat Keras

Terdapat perubahan dalam pengimplementasian perangkat keras, terutama dalam pengembangan *casing* yang digunakan dan pemasangannya. Seluruh komponen kecuali UHF RFID Reader dimasukkan ke dalam sebuah *casing* berukuran 8,4x3,6x4.2cm. Rancangan dari *casing* yang diimplementasikan ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



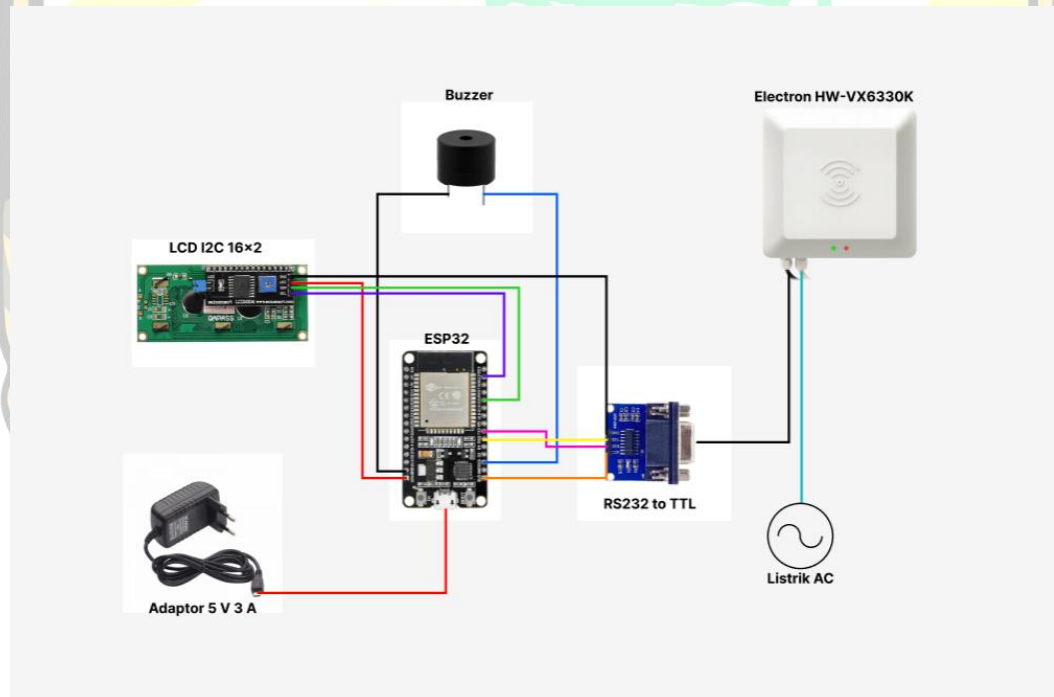
Gambar 4.1 Desain Casing yang Diimplementasikan

Berdasarkan desain tersebut, hasil cetak *casing* dan pemasangan komponen ke dalam *casing* ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.2 Tampak Casing

Selain itu, terdapat perubahan skematik yang diimplementasi pada rangkaian. Dilakukan penyederhanaan seperti meniadakan beberapa komponen seperti resistor, dan beberapa perubahan pin yang digunakan dalam pengimplementasian perangkat keras ini. Perubahan skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 3 Perubahan Skematik Rangkaian

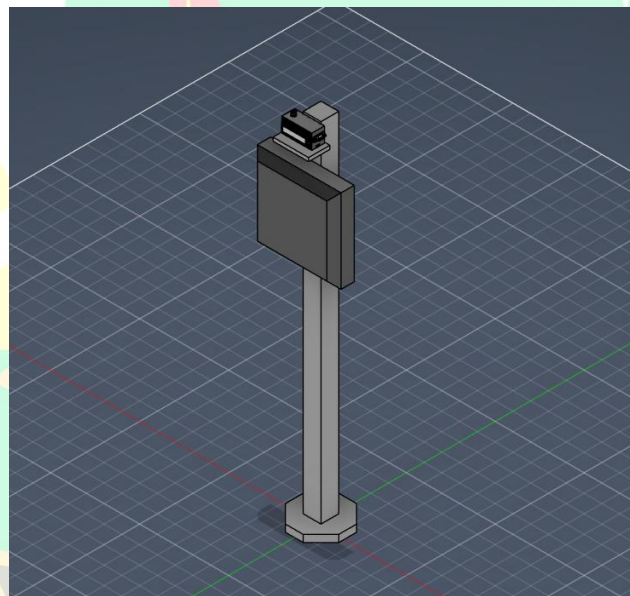
Berdasarkan perubahan skematik rangkaian pada Gambar 4.4, dapat dijelaskan perubahan pin yang diimplementasikan pada perangkat keras yang digunakan, dijabarkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Perubahan Pin Perangkat Keras

Nama Komponen	Pin Komponen	Pin ESP32 (Rancangan Awal)	Pin ESP32 (Implementasi Akhir)
MAX3232 (RFID)	VCC	Pin 3V3	Pin 3V3
	GND	Pin GND	Pin GND
	TXD	Pin D19 (RX)	Pin D16 (RX2)
	RXD	Pin D18 (TX)	Pin D17 (TX2)
LCD I2C	VCC	Pin 3V3	Pin 3V3
	GND	Pin GND	Pin GND
	SDA	Pin D21	Pin D21
	SCL	Pin D22	Pin D22
Buzzer	Pin (+)	Pin D23	Pin D15

	Pin (-)	Pin GND	Pin GND
--	---------	---------	---------

Perubahan berikutnya dalam implementasi perangkat keras adalah pemasangan UHF RFID Reader. Semulanya, RFID Reader ini dipasang bersamaan dengan *casing*, namun dengan tujuan efisiensi dan ketidakperluan RFID Reader menggunakan *casing*, disebabkan sudah memiliki *casing* bawaan, sehingga RFID Reader ini dipasangkan pada sebuah tiang setinggi 1 meter. Sementara itu, *casing* berisi komponen lainnya diletakkan di bagian atas *casing*, dan dihubungkan dengan RFID Reader melalui converter MAX3232. Rancangan desain dari seluruh sistem ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Desain Implementasi Penuh Perangkat Keras

4.1.1.2 Penjabaran Pengimplementasian Perangkat Keras

Secara umum, pengimplementasian perangkat keras melibatkan komponen-komponen yang telah ditentukan pada tahap perancangan pada BAB III sebelumnya. Komponen yang akan digunakan dalam implementasi perangkat keras ini adalah ESP32 sebagai perangkat pemroses, UHF RFID Reader HW-VX6330K sebagai perangkat input, converter MAX3232 sebagai antarmuka antara UHF RFID

Reader dan ESP32, serta LDC I2C dan buzzer sebagai output. Hasil implementasi penuh perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Implementasi Penuh Perangkat Keras

Komunikasi antara ESP32 dan UHF RFID Reader HW-VX6330 berlangsung melalui transmisi *serial asynchronous* (UART) berbasis pertukaran paket data biner (*frame bytes*). Dalam sistem ini, ESP32 bertindak sebagai pengendali utama yang bertukar perintah dan data dengan reader menggunakan format heksadesimal terstruktur, yang mencakup kode panjang data, alamat modul, instruksi kerja, payload (seperti data EPC/TID tag), dan checksum (CRC). Reader dapat beroperasi dalam mode aktif di mana ia langsung menyemburkan data tag secara otomatis ketika mendeteksi kehadiran tag, data baru dikirimkan setelah ESP32 mengeksekusi instruksi pembacaan secara berkala.

Modul MAX3232 berfungsi sebagai jembatan konversi level tegangan (*level shifter transceiver*) dua arah yang menjamin kompatibilitas fisik antara kedua perangkat tersebut. Port serial bawaan ESP32 bekerja pada level logika TTL/CMOS bertegangan 3,3V yang sensitif, sementara port serial pada UHF Reader HW-VX6330 menggunakan standar industri RS-232 dengan rentang tegangan tinggi berkisar antara -12V hingga +12V serta logika terbalik. Dengan mengandalkan pompa muatan kapasitif internal (*charge pump*), MAX3232 mentransformasikan sinyal 3,3V dari ESP32 menjadi standar RS-232 menuju reader, sekaligus menurunkan serta menyearahkan sinyal RS-232 dari reader menjadi 3,3V aman agar pin mikrokontroler tidak mengalami kerusakan akibat kelebihan tegangan.

Komponen terakhir yang dibutuhkan yaitu Tag Label RFID, yang berfungsi untuk dipasangkan kepada stok barang yang akan disimpan di gudang. Tag Label ini nantinya yang akan di-*scan* oleh RFID Reader dan menjadi pemberi indeks antar satu stok dengan stok lainnya. Pemasangan Tag Label yang digunakan adalah satu untuk setiap stok nya, bisa dalam bantuk dus ataupun satuan.

Contoh pemasangan tag label RFID ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut



Gambar 4.6 Pemasangan Tag Label RFID

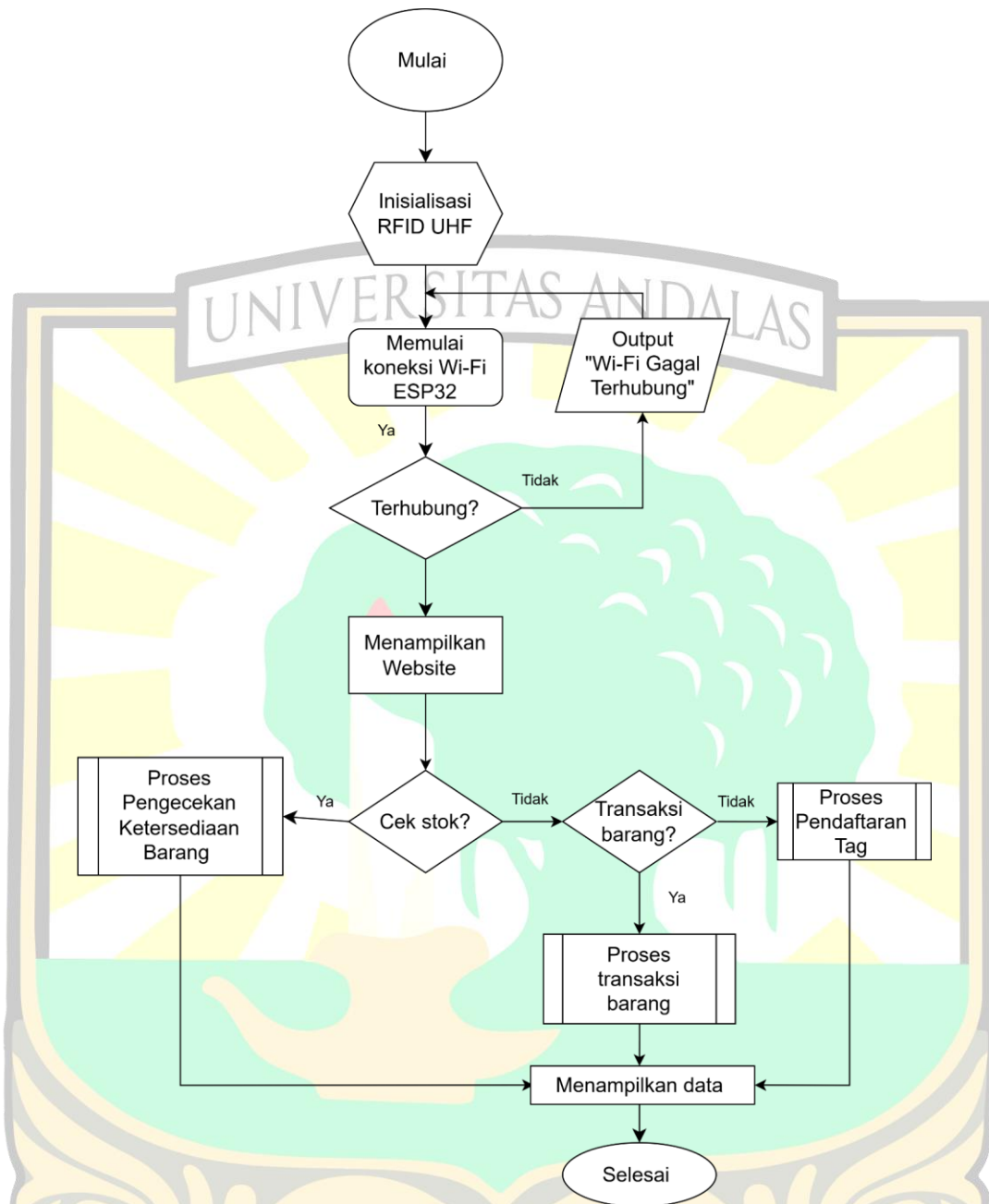
Terdapat berbagai jenis tag RFID yang dapat digunakan dan dibaca oleh RFID Reader ini. Tag dengan merk dan bentuk apapun dapat dibaca oleh Reader, selama tag tersebut memancarkan gelombang radio yang dapat ditangkap oleh Reader. Pemilihan tag berbentuk persegi panjang menyesuaikan kebutuhan pada toko kelontong yang memiliki stok yang berukuran besar (dus) dan diperlukan visibilitas tag yang baik untuk mempermudah penjaga toko untuk melakukan proses *scan*.

4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak

4.1.2.1 Perubahan Alur Proses Sistem

Pada rancangan awal sistem, pengiriman data dari mikrokontroler ESP32 ke server direncanakan menggunakan pendekatan antrean *First-In, First-Out* (FIFO) untuk mengantisipasi kegagalan jaringan. Namun, pada tahap implementasi akhir, dilakukan perubahan arsitektur menjadi pendekatan Transmisi Sinkron Waktu-Nyata (*Real-time Synchronous Transmission*).

Perubahan ini didasarkan pada pertimbangan efisiensi memori statis pada ESP32 serta kebutuhan sistem untuk memberikan umpan balik audio melalui *buzzer* dan visual melalui LCD secara instan berdasarkan kode status respons HTTP langsung dari website. Melalui pendekatan sinkron ini, setiap tag EPC yang terbaca oleh UHF RFID Reader akan langsung dikonversi menjadi format JSON dan dikirimkan saat itu juga melalui protokol HTTP POST. Pengimplementasian dengan websocket memungkinkan fungsi *Real-Time* berlangsung dengan efisien. Hal ini menyebabkan terdapat perubahan pada proses keseluruhan sistem, subproses pendaftaran tag, dan subproses transaksi barang. Perubahan alur proses keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Perubahan Flowchart Proses Keseluruhan Sistem

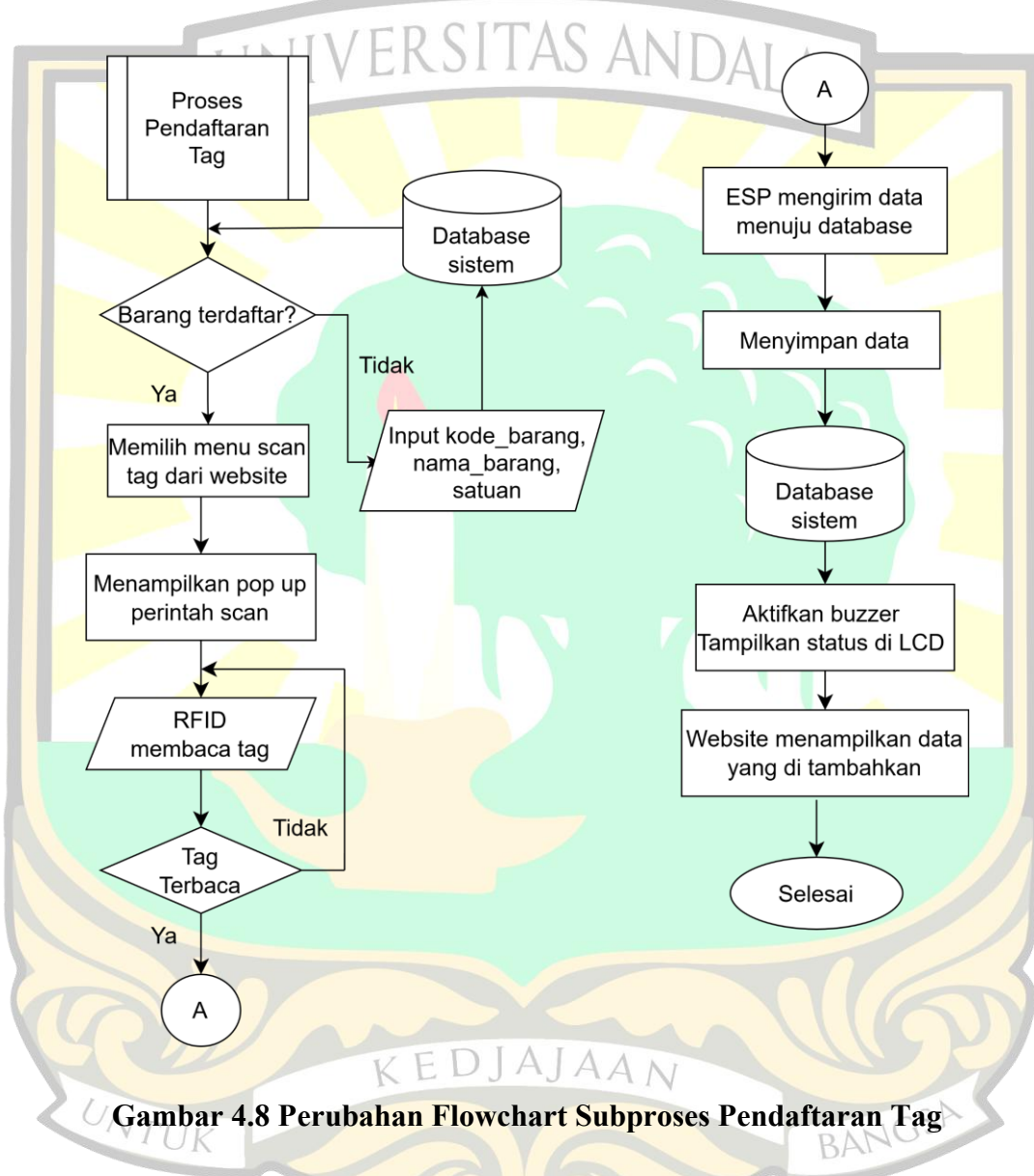
Pada perubahan alur proses utama dari keseluruhan sistem, terdapat perubahan dan penyederhanaan alur guna membuat sistem yang lebih efisien dalam menjalankan fungsinya melakukan pencatatan stok. Dimulai dengan inisiasi sistem perangkat keras dengan ESP32 yang mencoba untuk melakukan koneksi dengan Wi-Fi. Seluruh proses input, penulisan dan pengambilan data dari database serta output dipindahkan ke setiap subproses, sehingga alur dari setiap subprosesnya dapat

tergambarkan

secara

jelas.

Perubahan selanjutnya adalah proses pendaftaran tag, dimana proses ini meliputi pendaftaran barang untuk pertama kalinya, atau pendaftaran tag untuk barang-barang yang telah ditambahkan sebelumnya. Perubahan alur subproses pendaftaran tag ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut.

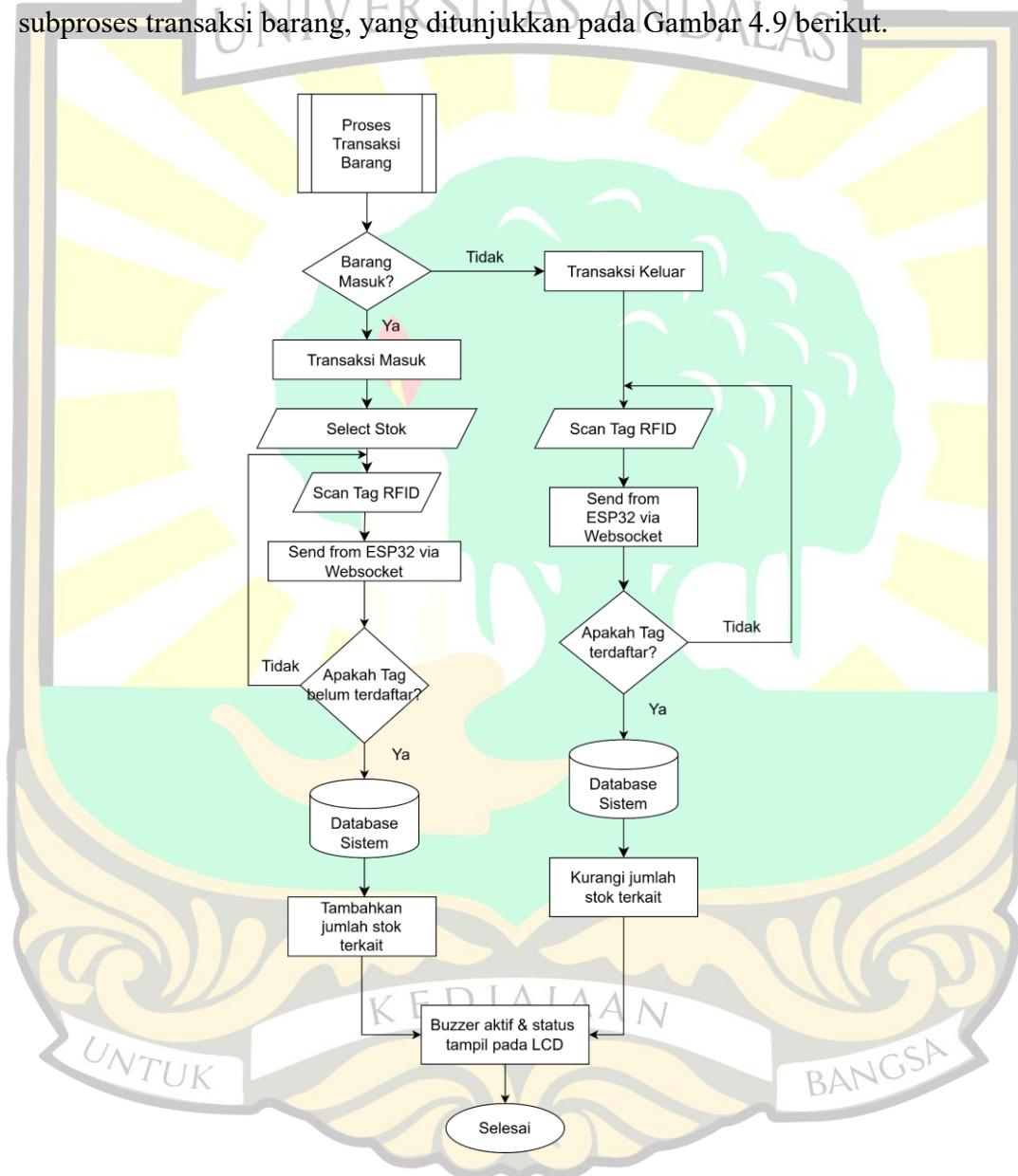


Gambar 4.8 Perubahan Flowchart Subproses Pendaftaran Tag

Perubahan yang dilakukan pada subproses pendaftaran tag, dimulai dengan mendaftarkan barang/stok terlebih dahulu jika barang masih belum terdaftar pada database sistem. Ketika mendaftarkan stok, pengguna perlu menginputkan kode_barang, nama_barang dan satuan. Jika barang sudah terdaftar, maka pengguna dapat melakukan pendaftaran tag pertama dengan memilih menu scan tag

dari stok terkait. ESP32 yang berada pada status *active* akan meneruskan input RFID yang terbaca ke website melalui websocket, dan mendaftarkan EPC dari tag terkait sebagai milik stok tersebut. Buzzer dan LCD juga akan menampilkan indikator keberhasilan apabila berhasil mendaftarkan tag, begitupun sebaliknya.

Subproses terakhir yang mengalami perubahan pada implementasi adalah subproses transaksi barang, yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Perubahan Flowchart Subproses Transaksi Barang

Perubahan yang diterapkan pada subproses ini meliputi cara pemilihan stok yang akan dilakukan transaksi, dan bagaimana sistem memproses transaksi yang terjadi.

Dimulai dengan pemilihan menu transaksi masuk atau keluar. Pada transaksi masuk, akan diminta untuk memilih stok yang telah didaftarkan terlebih dahulu. Jika belum didaftarkan, maka stok harus didaftarkan terlebih dahulu sesuai dengan subproses pendaftaran tag. Proses transaksi masuk akan dimulai dengan meminta scan Tag RFID. Jika Tag sudah terdaftar, maka permintaan akan ditolak dan sistem akan kembali meminta untuk scan Tag. Jika Tag belum terdaftar, maka tag tersebut akan didaftarkan ke database sistem sebagai penambahan dari stok terkait yang telah dipilih sebelumnya.

Pada transaksi keluar, sistem akan langsung meminta scan Tag RFID, untuk setiap scan, sistem akan melakukan pemeriksaan secara *Real-Time* pada seluruh tag yang telah disimpan di database. Jika tidak ditemukan, maka permintaan akan ditolak dan sistem akan kembali meminta scan Tag. Jika tag ditemukan, maka tag tersebut akan dikeluarkan dari database dan stok produk yang terkait dengan tag tersebut akan dikurangi.

Perubahan utama dari subproses ini adalah seluruh tag yang dibaca akan langsung diproses secara *Real-Time* oleh sistem, tanpa adanya antrian. Proses pengecekan dan penulisan database yang cepat, didukung dengan latensi rendah dari websocket, memungkinkan tidak diperlukannya algoritma antrian, seperti FIFO, sehingga seluruh tag yang dibaca dapat diproses dalam waktu singkat dan efisien.

4.1.2.1 Implementasi Program ESP32

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan framework Arduino dengan beberapa library pendukung, yaitu WiFi.h dan HTTPClient.h untuk konektivitas jaringan, ArduinoJson.h untuk serialisasi dan parsing data JSON, serta LiquidCrystal_I2C.h untuk kendali layar LCD. Seluruh parameter sistem dikonfigurasi melalui konstanta global yang didefinisikan di bagian awal program, mencakup kredensial jaringan WiFi, alamat endpoint server Laravel, pin GPIO untuk buzzer dan komunikasi serial RFID, serta parameter komunikasi serial seperti baud rate 57600 bps yang disesuaikan dengan spesifikasi modul UHF RFID reader.

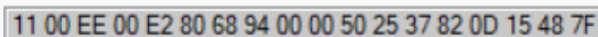
Proses koneksi WiFi diimplementasikan pada fungsi connectWiFi(). ESP32 dikonfigurasi dalam mode Station (WIFI_STA) dan mencoba terhubung ke jaringan dengan batas maksimal 30 percobaan (timeout sekitar 15 detik). Apabila koneksi

berhasil, sistem menampilkan informasi jaringan pada LCD dan Serial Monitor, mencakup alamat IP yang diperoleh serta kekuatan sinyal dalam satuan dBm. Sebaliknya, jika koneksi gagal, sistem memberikan umpan balik visual pada LCD dan sinyal audio tiga beep cepat melalui buzzer.

Ketangguhan sistem dijaga melalui mekanisme pemantauan koneksi pada fungsi `loop()`. Setiap iterasi loop memeriksa status WiFi; apabila koneksi terputus, sistem secara otomatis memanggil kembali fungsi `connectWiFi()` untuk melakukan reconnect tanpa perlu restart manual. Hal ini menjamin ketersediaan sistem secara berkelanjutan dalam lingkungan jaringan yang tidak stabil sekalipun.

Modul UHF RFID reader beroperasi dalam mode aktif (*Active Mode*), di mana reader secara otomatis dan terus-menerus mengirimkan data tag yang terbaca melalui jalur komunikasi serial tanpa perlu perintah polling dari ESP32. Data yang dikirim berupa frame byte mentah (raw byte) dengan struktur yang terdiri atas byte panjang data, byte perintah, byte status, payload EPC, dan dua byte checksum di akhir.

Pembacaan frame dilakukan menggunakan fungsi `readExact()` yang membaca sejumlah byte secara presisi dengan mekanisme timeout. Setelah frame lengkap diterima, sistem memvalidasi byte command (0xEE) dan byte status (0x00) untuk memastikan frame yang diproses benar-benar merupakan data pembacaan tag yang valid, bukan frame kontrol lain seperti acknowledgment atau heartbeat. Payload EPC kemudian diekstrak dari frame dengan menghilangkan header 4 byte dan checksum 2 byte di bagian akhir, lalu dikonversi menjadi string heksadesimal (HEX string) berformat kapital sepanjang 8–64 karakter yang siap dikirim ke server.



Gambar 4.10 Struktur Raw Byte RFID Reader

Setelah EPC berhasil diekstrak, fungsi `processEpc()` bertanggung jawab mengirimkan data ke server Laravel melalui protokol HTTP POST. Data EPC dikemas dalam format JSON dengan kunci "epc" menggunakan library `ArduinoJson`, kemudian dikirimkan ke endpoint `/api/rfid/scan` dengan header `Content-Type: application/json` dan timeout koneksi 5 detik.

Sistem menerapkan penanganan respons yang terdiferensiasi berdasarkan HTTP status code yang diterima dari server. Kode status yang diimplementasikan beserta fungsinya dijabarkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Fungsi kode HTTP

Kode HTTP	Arti Status dari Server	Respon Visual (LCD)	Respon Audio (Buzzer)
200	Sukses (Transaksi tercatat di basis data)	"SUKSES! Tercatat"	1 Beep Panjang (300 ms)
202	Scanner IDLE (Mode web belum diaktifkan)	"Scanner IDLE!"	1 Beep Singkat (60 ms)
404	Tag Asing (Belum teregistrasi di sistem)	"Tag Asing!"	3 Beep Cepat (80 ms)
409	Tag Konflik (Terdaftar di produk lain)	"Tag Produk Lain!"	3 Beep Cepat (80 ms)
422	Tag Duplikat (Sudah berstatus <i>out</i>)	"Sudah Keluar!"	3 Beep Cepat (80 ms)
-1 / Lainnya	Jaringan Terputus / Server <i>Error</i>	"Gagal Kirim!" / "Server Error!"	3 Beep Cepat (80 ms)

Setelah pemrosesan selesai, buffer serial RFID dikosongkan untuk mencegah pembacaan ganda (*double-read*), dan LCD direset kembali ke status standby "Menunggu Tag..." siap untuk pembacaan berikutnya.

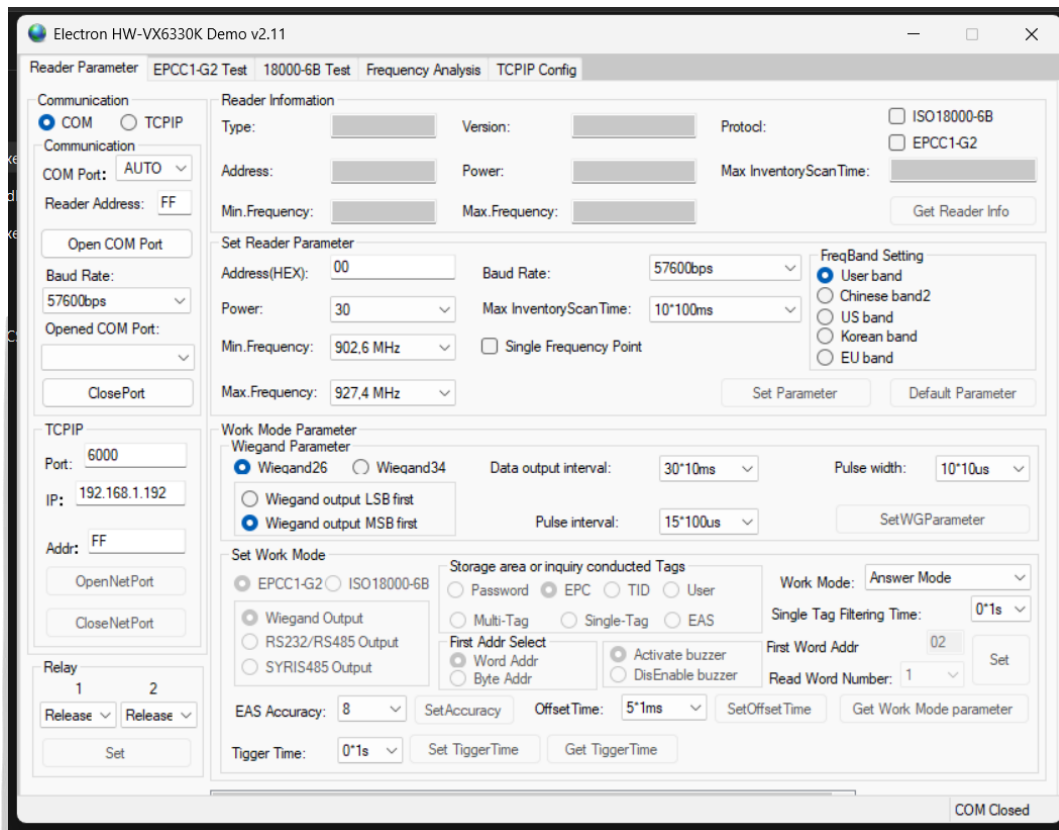


Gambar 4.11 Status Standby

Program penuh ESP32 ditunjukkan pada Lampiran 1.

4.1.2.2 Implementasi Konfigurasi UHF Reader HW-VX6330K

Modul RFID reader yang digunakan dalam sistem SmartKlon adalah Electron HW-VX6330K, sebuah reader UHF RFID yang mendukung protokol EPC Gen2 / ISO 18000-6C. Reader ini dikonfigurasi melalui perangkat lunak bawaan bernama Electron HW-VX6330K Demo v2.11 yang terinstal di komputer, sebelum reader dihubungkan secara permanen ke ESP32. Konfigurasi dilakukan satu kali dan tersimpan pada memori internal reader, sehingga pengaturan tetap berlaku meskipun reader dimatikan dan dinyalakan kembali. Panel konfigurasi ditampilkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 12 Panel Konfigurasi UHF RFID Reader HW-VX6330K

Pada panel Communication di sisi kiri aplikasi, reader dikonfigurasi menggunakan antarmuka COM (bukan TCP/IP) dengan COM Port diatur ke AUTO agar aplikasi secara otomatis mendeteksi port yang tersedia. Reader Address diatur ke FF yang merupakan nilai broadcast, artinya perintah dikirim ke semua reader yang terhubung tanpa seleksi alamat spesifik.

Parameter yang paling krusial adalah Baud Rate yang ditetapkan pada 57600 bps, baik di sisi aplikasi konfigurasi maupun di sisi firmware ESP32 (konstanta RFID_BAUDRATE 57600). Kecocokan baud rate di kedua sisi ini merupakan syarat mutlak agar komunikasi serial antara reader dan ESP32 dapat berjalan tanpa error atau data corruption.

Pada bagian Set Reader Parameter, konfigurasi yang ditetapkan beserta dengan fungsinya dijelaskan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Konfigurasi Reader RFID

Parameter	Value	Keterangan
Address (HEX)	00	alamat reader dalam format heksadesimal.
Baud Rate	57600 bps	Untuk menyamakan Baud Rate yang digunakan oleh ESP32.
Power	30	Tingkat daya pancar antenna reader, mempengaruhi jarak baca tag.
Max InventoryScanTime	10×100ms (1 detik)	durasi maksimum satu siklus inventarisasi tag.

Bagian terpenting dari seluruh konfigurasi adalah pemilihan Work Mode pada panel Set Work Mode. Reader dikonfigurasi sebagai Active Mode, di mana reader secara mandiri dan terus-menerus melakukan scanning serta mengirimkan data EPC setiap kali ada tag RFID yang masuk ke dalam jangkauan antena, tanpa memerlukan perintah polling dari ESP32. Sehingga secara teknis, ESP32 dan UHF Reader akan terus membaca tag, namun yang mengontrol operasi apa yang dilakukan pada tag yang dibaca tersebut ditentukan oleh website sebagai antarmuka sistem.

Pendekatan ini berbeda dengan mode pasif (*polling mode*) yang mengharuskan mikrokontroler mengirim perintah terlebih dahulu sebelum reader merespons. Dengan Active Mode, seluruh kendali logika pemrosesan data sepenuhnya dipindahkan ke sisi server, di mana mode scanner (*idle*, *batch_in*, *single_in*, *out*, *check_stock*) menentukan apakah data yang masuk akan diproses atau diabaikan.

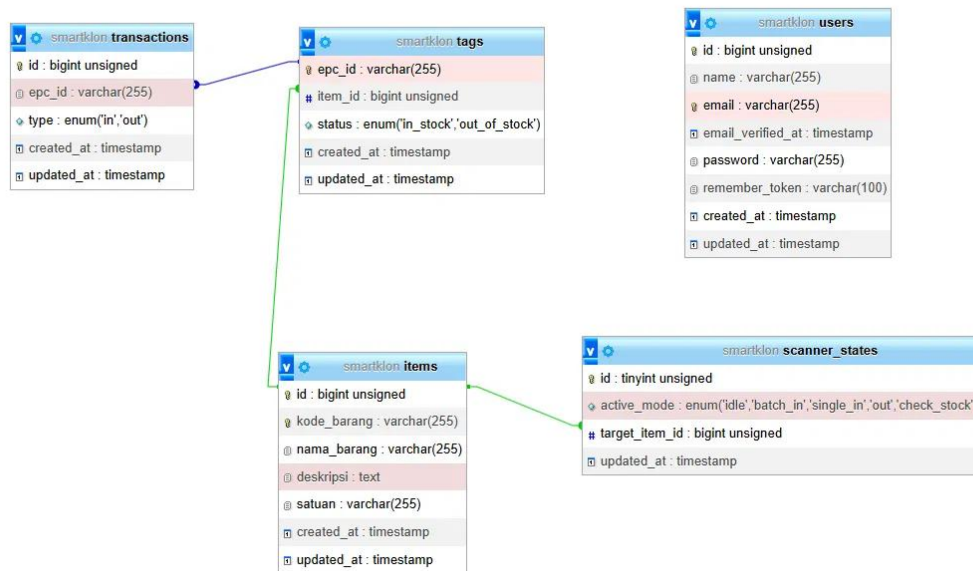
Konfigurasi lain yang perlu diatur pada work mode ini adalah Single Tag Filtering Time yang diubah menjadi 2*1s, ini menentukan frekuensi reader dalam membaca tag. Ini penting agar ketika setelah membaca tag, reader tidak langsung membaca tag berikutnya. Selanjutnya adalah jenis output yang digunakan. Saat ini, ESP32 menggunakan RS232 sebagai komunikasi dengan reader, sehingga dari sisi reader juga perlu dikonfigurasi agar dapat menerima sinyal melalui komunikasi RS232

4.1.2.3 Perubahan Implementasi Database

Dalam pengimplementasiannya dengan sistem yang akan dikembangkan, terdapat perubahan dari database yang digunakan. Semulanya database yang digunakan merupakan penggabungan dengan subsistem lainnya, seperti *human activity record* dan barcode. Pada implementasi ini, database yang digunakan terpisah dengan yang lainnya. Perubahan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengoptimalkan proses pembacaan dan perhitungan stok berdasarkan record transaksi yang tersimpan pada database. Jumlah produk tidak lagi ditulis dalam bentuk kuantitas pasti, namun merupakan hasil query perhitungan dari transaksi yang terjadi pada produk tersebut, baik melalui transaksi masuk ataupun transaksi keluar. Perubahan ini memungkinkan sistem yang lebih efisien, *real-time* dan tidak rawan mengalami kesalahan.

Database sistem SmartKlon dibangun menggunakan sistem manajemen basis data MySQL dengan nama skema smartklon. Perancangan database mengacu pada prinsip normalisasi relasional untuk meminimalkan redundansi data, menjaga integritas referensial antar entitas, sekaligus memudahkan proses agregasi data stok secara dinamis. Secara keseluruhan, database terdiri dari 5 tabel utama yang masing-masing memiliki peran dan tanggung jawab yang berbeda dalam mendukung alur kerja sistem.

Arsitektur relasi antar tabel dirancang dengan hierarki yang jelas. Tabel items berperan sebagai tabel induk katalog produk yang menjadi acuan utama seluruh operasi stok. Tabel tags berelasi ke items melalui foreign key `item_id`, di mana setiap baris merepresentasikan satu unit fisik barang yang telah dilabeli tag RFID. Tabel transactions mencatat riwayat setiap kejadian mutasi stok secara kronologis melalui kolom `epc_id` yang merujuk ke identitas tag. Tabel scanner_states berfungsi sebagai tabel konfigurasi tunggal (singleton) yang menentukan perilaku pemrosesan backend, dengan kolom `target_item_id` yang merujuk kembali ke tabel items. Sementara itu, tabel users berdiri secara independen sebagai tabel autentikasi administrator tanpa relasi langsung ke tabel operasional lainnya. *Entity Relationship Diagram* yang diimplementasikan pada database ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4. 13 Entity Relationship Diagram

Tabel users menyimpan data akun administrator yang memiliki hak akses penuh terhadap website SmartKlon. Tabel ini dibuat dan dikelola oleh framework Laravel melalui mekanisme migrasi bawaan, mengikuti skema standar autentikasi Laravel yang telah terbukti aman dan teruji.

Struktur tabel ini mencakup kolom id sebagai primary key bertipe bigint unsigned dengan auto-increment, kolom name untuk menyimpan nama tampilan administrator, serta kolom email yang bersifat unik dan digunakan sebagai identitas login.

	#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
☐	1	id 🔑	bigint		UNSIGNED	No	None		AUTO_INCREMENT
☐	2	name	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	3	email 🔑	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	4	email_verified_at	timestamp			Yes	NULL		
☐	5	password	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	6	remember_token	varchar(100)	utf8mb4_unicode_ci		Yes	NULL		
☐	7	created_at	timestamp			Yes	NULL		
☐	8	updated_at	timestamp			Yes	NULL		

Gambar 4. 14 Struktur Tabel Users

Tabel items merupakan tabel katalog produk yang berfungsi sebagai fondasi utama sistem manajemen stok SmartKlon. Setiap baris pada tabel ini merepresentasikan satu jenis barang atau satu SKU (Stock Keeping Unit) yang dikelola dalam sistem, tanpa memandang berapa banyak unit fisik yang dimiliki.

Kolom id berperan sebagai primary key bertipe bigint unsigned yang dirujuk oleh tabel tags dan scanner_states sebagai foreign key. Kolom kode_barang menyimpan kode identifikasi produk yang bersifat unik dan ditentukan secara manual oleh administrator, berfungsi sebagai referensi cepat dalam pencarian dan pengelompokan barang. Kolom nama_barang menyimpan nama deskriptif produk yang ditampilkan pada antarmuka website. Kolom deskripsi bertipe text menyediakan ruang untuk keterangan tambahan mengenai produk. Kolom satuan mencatat satuan hitung barang seperti "pcs", "box", atau "kg" yang digunakan dalam pelaporan stok.

Dalam implementasinya, tabel items tidak menyimpan jumlah stok sebagai kolom numerik. Pendekatan ini dipilih karena jumlah stok yang aktual dihitung secara dinamis pada saat query dengan cara mengagregasi dan menghitung baris pada tabel tags yang memiliki item_id sesuai, dikelompokkan berdasarkan nilai kolom status. Dengan demikian, data stok selalu mencerminkan kondisi riil berdasarkan catatan tag individual, bukan angka yang diperbarui secara manual dan rawan ketidaksesuaian.

	#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
☐	1	id	bigint		UNSIGNED	No	None		AUTO_INCREMENT
☐	2	kode_barang	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	3	nama_barang	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	4	deskripsi	text	utf8mb4_unicode_ci		Yes	NULL		
☐	5	satuan	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	pcs		
☐	6	created_at	timestamp			Yes	NULL		
☐	7	updated_at	timestamp			Yes	NULL		

Gambar 4. 15 Struktur Tabel Items

Tabel tags merupakan tabel inti yang paling krusial dalam keseluruhan arsitektur database SmartKlon. Tabel ini mencatat identitas dan status setiap unit fisik barang secara individual, sesuai dengan filosofi dasar sistem yang mengidentifikasi barang per-unit menggunakan tag RFID, bukan per-jenis seperti sistem konvensional.

Kolom epc_id bertipe varchar(255) berfungsi sebagai primary key alami (natural key) yang menyimpan kode EPC unik hasil pembacaan RFID reader dalam format HEX string. Kode EPC ini tertanam secara permanen pada chip setiap tag RFID fisik dan bersifat unik secara global, sehingga tidak akan terjadi tabrakan identitas antar unit barang selama tag fisik tidak diganti atau dimodifikasi. Kolom item_id merupakan foreign key bertipe bigint unsigned yang menghubungkan tag ke jenis produk tertentu di tabel items. Kolom status bertipe enum dengan dua nilai yang mungkin, yaitu in_stock dan out_of_stock. Nilai kolom inilah yang menjadi representasi digital dari posisi fisik barang, apakah barang sedang berada di rak/gudang atau telah diambil dan keluar. Perubahan nilai kolom status yang dipicu oleh pembacaan RFID melalui ESP32 inilah yang menjadi mekanisme utama pencatatan mutasi stok dalam sistem secara keseluruhan.

	#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
☐	1	epc_id 🔑	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	2	item_id 🔑	bigint		UNSIGNED	No	None		
☐	3	status	enum('in_stock', 'out_of_stock')	utf8mb4_unicode_ci		No	in_stock		
☐	4	created_at	timestamp			Yes	NULL		
☐	5	updated_at	timestamp			Yes	NULL		

Gambar 4. 16 Struktur Tabel Tags

Tabel transactions berfungsi sebagai log audit permanen yang mencatat seluruh riwayat kejadian mutasi stok secara kronologis. Keberadaan tabel ini melengkapi tabel tags yang hanya menyimpan status terakhir sebuah tag. Dengan adanya transactions, administrator dapat menelusuri kapan, dalam arah apa, dan berapa kali sebuah unit barang mengalami pergerakan sejak pertama kali didaftarkan ke dalam sistem.

Kolom id merupakan primary key auto-increment sebagai identitas unik setiap entri transaksi. Kolom epc_id bertipe varchar(255) mencatat kode EPC tag yang terlibat dalam transaksi, merujuk secara logis ke tabel tags meskipun tanpa constraint foreign key eksplisit, untuk menjaga fleksibilitas pencatatan historis bahkan jika data tag dihapus di kemudian hari. Kolom type bertipe enum dengan nilai in atau out yang secara eksplisit mencerminkan arah mutasi barang, dimana nilai in dicatat ketika tag berhasil didaftarkan masuk melalui mode batch_in atau single_in, sementara nilai out dicatat ketika barang berhasil dikeluarkan melalui mode out.

	#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
☐	1	id 🔑	bigint		UNSIGNED	No	None		AUTO_INCREMENT
☐	2	epc_id 🔑	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	3	type	enum('in', 'out')	utf8mb4_unicode_ci		No	None		
☐	4	created_at	timestamp			Yes	NULL		
☐	5	updated_at	timestamp			Yes	NULL		

Gambar 4. 17 Struktur Tabel Transactions

Tabel `scanner_states` merupakan tabel dengan peran yang unik dalam arsitektur database `SmartKlon`. Berbeda dengan tabel-tabel lainnya yang bersifat transaksional atau referensial, tabel ini dirancang sebagai tabel konfigurasi singleton, yaitu sebuah tabel yang secara by design hanya boleh dan selalu memiliki tepat satu baris data aktif. Baris tunggal tersebut merepresentasikan state operasional scanner yang sedang berlaku pada saat itu, dan menjadi acuan utama bagi backend `Laravel` dalam menentukan bagaimana setiap pembacaan tag RFID dari `ESP32` harus diproses.

Kolom `id` bertipe `tinyint unsigned` dipilih untuk menegaskan bahwa tabel ini memang tidak dirancang untuk menampung banyak baris. Kolom `active_mode` bertipe `enum` dengan lima nilai yang mungkin: `idle`, `batch_in`, `single_in`, `out`, dan `check_stock`. Setiap nilai `enum` ini memiliki konsekuensi pemrosesan yang berbeda pada sisi backend. Ketika mode `idle` aktif maka seluruh scan akan diabaikan, ketika `batch_in` atau `single_in` aktif maka tag baru akan didaftarkan ke produk target, ketika `out` aktif maka status tag akan diubah menjadi `out_of_stock`, dan ketika `check_stock` aktif maka tag hanya dibaca tanpa ada perubahan data. Kolom `target_item_id` bertipe `bigint unsigned` merupakan foreign key yang merujuk ke tabel `items`, menyimpan informasi produk mana yang menjadi target operasi saat mode pendaftaran atau pengeluaran aktif.

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
☐ 1	<code>id</code> 🔑	<code>tinyint</code>		<code>UNSIGNED</code>	No	<code>None</code>		
☐ 2	<code>active_mode</code>	<code>enum('idle', 'batch_in', 'single_in', 'out', 'check_stock')</code>	<code>utf8mb4_unicode_ci</code>		No	<code>idle</code>		
☐ 3	<code>target_item_id</code> 🔑	<code>bigint</code>		<code>UNSIGNED</code>	Yes	<code>NULL</code>		
☐ 4	<code>updated_at</code>	<code>timestamp</code>			Yes	<code>NULL</code>		

Gambar 4. 18 Struktur Tabel `Scanner_States`

4.1.2.4 Implementasi Website

Antarmuka web `SmartKlon Mart` dibangun menggunakan framework `Laravel` sebagai fondasi utama dengan pendekatan arsitektur MVC (Model-View-Controller). `Laravel` dipilih karena menyediakan ekosistem yang lengkap dalam satu framework, mencakup sistem routing, autentikasi, pengelolaan database melalui `Eloquent ORM`, hingga dukungan komunikasi real-time melalui `Laravel`

Reverb, sehingga seluruh kebutuhan sistem dapat dipenuhi tanpa bergantung pada banyak teknologi eksternal yang terpisah.

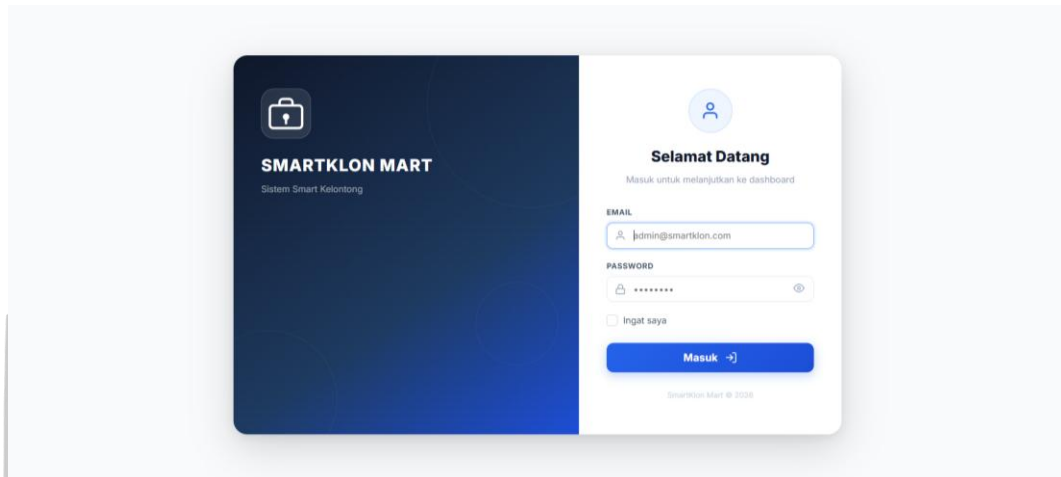
Pada sisi tampilan, antarmuka dibangun menggunakan Blade, mesin templating bawaan Laravel yang memungkinkan pembuatan komponen tampilan secara hierarkis. Seluruh halaman mewarisi satu layout utama yang mendefinisikan struktur global termasuk sidebar, topbar, dan sistem notifikasi, sementara setiap halaman hanya mendefinisikan konten spesifiknya masing-masing sehingga tampilan seluruh aplikasi terjaga konsistensinya.

Untuk pembaruan data secara langsung tanpa perlu me-refresh halaman, sistem memanfaatkan Laravel Reverb sebagai WebSocket server dan Laravel Echo pada sisi browser sebagai pendengar event. Setiap kali ESP32 mengirimkan data scan yang berhasil diproses, server langsung menyiarkan informasi tersebut ke seluruh browser yang sedang terbuka, sehingga tampilan dashboard dan halaman stok memperbarui dirinya sendiri secara otomatis dan instan.

Tampilan setiap halaman akan dijelaskan, sebagai berikut:

1. Halaman login

Tampilan halaman login dirancang dengan layout dua panel. Panel kiri menampilkan identitas sistem berupa nama, tagline, dan elemen visual dekoratif. Panel kanan menampilkan formulir login yang terdiri dari field email, field password yang dilengkapi tombol untuk menampilkan atau menyembunyikan karakter, opsi "Ingat Saya" untuk sesi yang persisten, serta tombol masuk. Apabila kredensial yang dimasukkan tidak sesuai, halaman akan menampilkan pesan kesalahan tanpa merinci apakah email atau password yang salah. Setelah berhasil login, administrator diarahkan ke halaman dashboard.



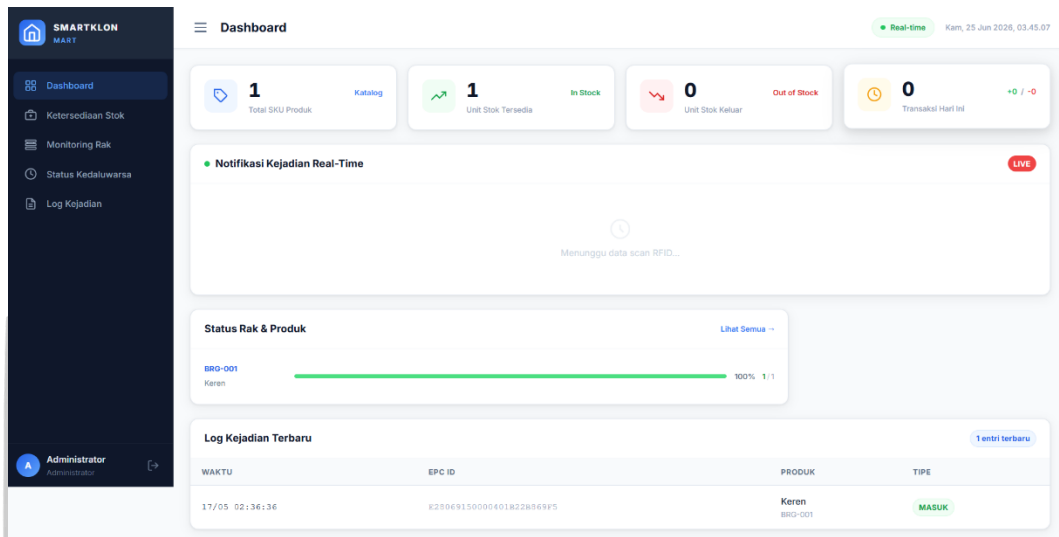
Gambar 4. 19 Halaman Login Smartklon

Setelah berhasil login, seluruh halaman dalam sistem menggunakan satu layout utama yang konsisten. Layout ini terbagi menjadi dua area, sidebar di sisi kiri sebagai navigasi global, dan area konten di sisi kanan.

2. Sidebar, Topbar dan Halaman Dashboard

Sidebar menampilkan logo dan nama sistem di bagian atas, diikuti menu navigasi menuju halaman Dashboard dan Ketersediaan Stok. Menu yang sedang aktif ditandai secara visual secara otomatis sesuai halaman yang dibuka. Di bagian bawah sidebar terdapat informasi akun administrator yang sedang login beserta tombol logout. Sidebar dapat diciutkan untuk memberikan ruang tampilan yang lebih luas pada layar yang lebih kecil.

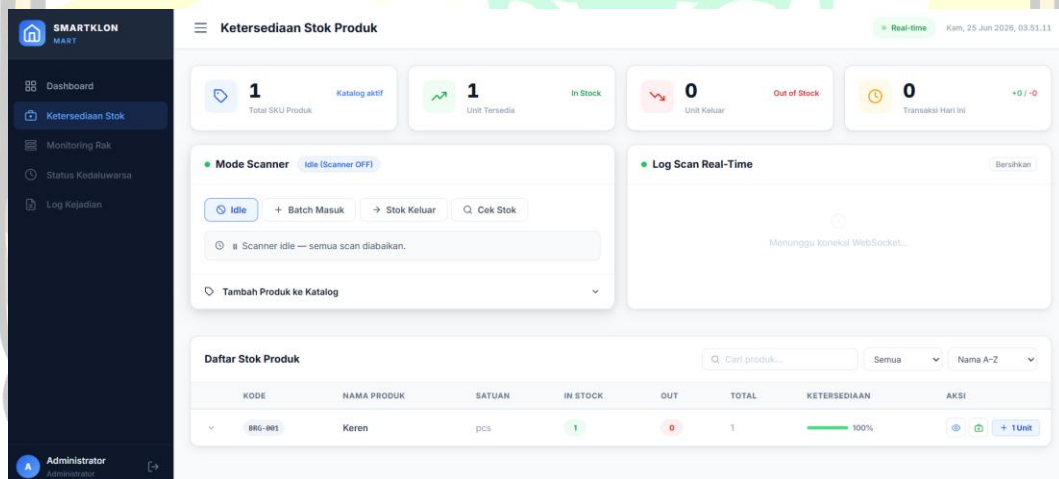
Halaman dashboard merupakan halaman pertama yang ditampilkan setelah administrator berhasil login. Halaman ini memberikan gambaran umum kondisi stok secara menyeluruh dan diperbarui secara real-time tanpa perlu refresh.



Gambar 4. 20 Halaman Dashboard Smartklon

3. Halaman Ketersediaan Stok

Halaman ketersediaan stok merupakan halaman operasional utama tempat administrator mengelola seluruh aktivitas stok secara langsung. Halaman ini terbagi menjadi beberapa area yang masing-masing memiliki fungsi tersendiri.



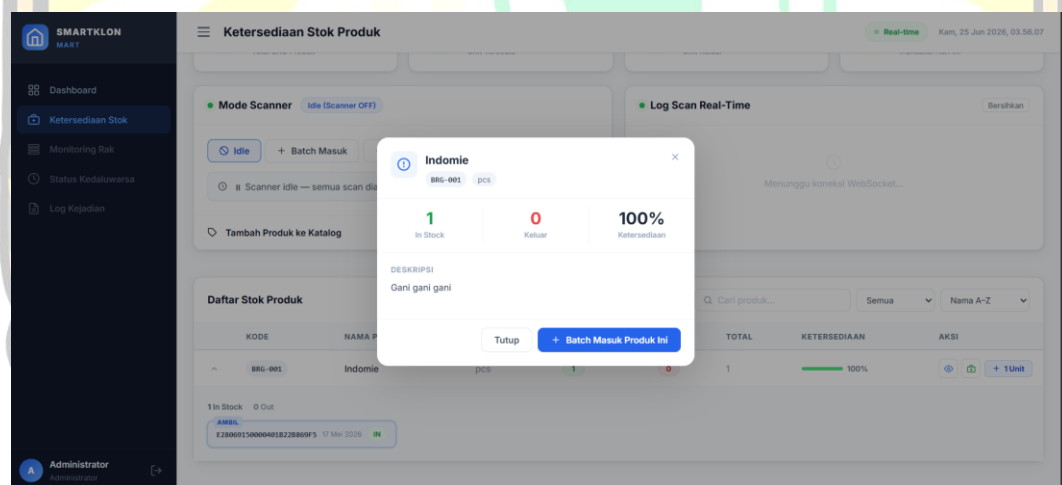
Gambar 4. 21 Halaman Ketersediaan Stok

Sama seperti dashboard, bagian paling atas menampilkan empat kartu statistik global yang juga diperbarui secara real-time. Di bawahnya terdapat dua panel yang berdampingan. Panel kiri adalah Panel Mode Scanner yang menampilkan mode scanner yang sedang aktif beserta empat tombol untuk mengganti mode: Idle, Batch Masuk, Stok Keluar, dan Cek Stok. Mode yang sedang aktif ditampilkan secara

jas beserta keterangan singkat kondisi scanner saat itu. Panel kanan adalah Log Scan Real-Time yang menampilkan riwayat pembacaan RFID selama sesi halaman berlangsung, ditandai dengan warna berbeda untuk setiap jenis transaksi. Panel ini juga menampilkan indikator status koneksi WebSocket yang berubah antara LIVE dan OFFLINE sesuai kondisi koneksi.

Di bawah kedua panel tersebut terdapat tabel daftar stok produk yang menampilkan seluruh produk beserta detail stoknya. Setiap baris menampilkan kode produk, nama, satuan, jumlah unit tersedia, jumlah yang sudah keluar, total unit, dan bar persentase ketersediaan yang berubah warna secara otomatis. Tabel ini dilengkapi fitur pencarian berdasarkan nama atau kode produk, filter berdasarkan status stok, dan pilihan pengurutan, yang semuanya bekerja secara instan tanpa memuat ulang halaman.

Setiap baris produk memiliki tiga tombol aksi. Tombol pertama membuka modal detail yang menampilkan informasi lengkap produk. Tombol kedua membuka modal Batch Masuk untuk produk tersebut. Tombol ketiga bertuliskan "+1 Unit" untuk mendaftarkan satu unit baru melalui scan RFID secara cepat.



Gambar 4. 22 Aksi dan Detail Daftar Stok Produk

Setiap baris juga dapat diperluas dengan menekan tombol panah di sisi kiri untuk menampilkan daftar seluruh tag RFID fisik yang terdaftar pada produk tersebut. Daftar ini memuat nomor EPC setiap tag beserta statusnya.

KODE	NAMA PRODUK	SATUAN	IN STOCK	OUT	TOTAL	KETERSEDIAAN	AKSI
BRG-001	Indomie	pcs	1	0	1	100%	+ 1Unit

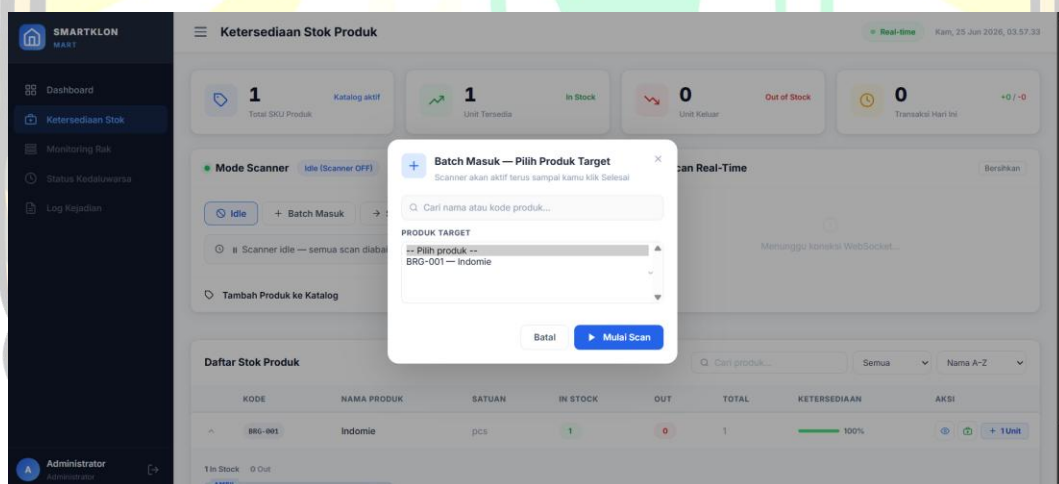
1 In Stock 0 Out

AMBIL
E280691500004018228869F5 17 Mei 2026 IN

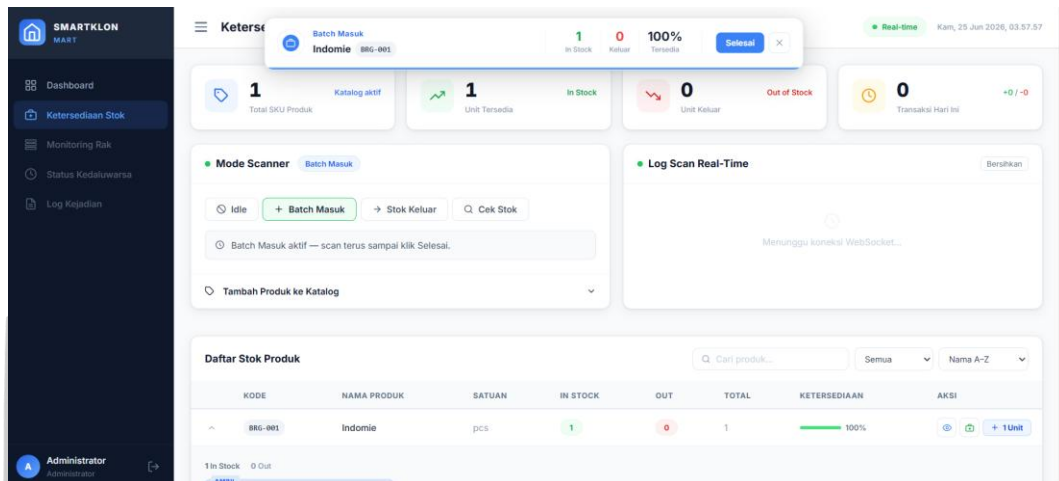
Gambar 4. 23 Daftar RFID Terdaftar

Di dalam Panel Mode Scanner terdapat panel tersembunyi untuk menambah produk baru ke dalam katalog. Panel ini dapat dibuka dengan menekan judulnya dan menampilkan formulir pengisian kode barang, nama barang, satuan, dan deskripsi.

Alur Batch Masuk berjalan ketika administrator menekan tombol Batch Masuk, sistem menampilkan modal untuk memilih produk target dengan fitur pencarian. Setelah produk dipilih dan sesi dimulai, sebuah overlay muncul di bagian atas halaman menampilkan informasi produk target, statistik stok yang terus diperbarui setiap kali tag baru terbaca, dan tombol Selesai untuk mengakhiri sesi. Selama overlay ini aktif, setiap tag RFID yang didekatkan ke reader akan otomatis didaftarkan ke produk target tanpa interaksi tambahan dari administrator.

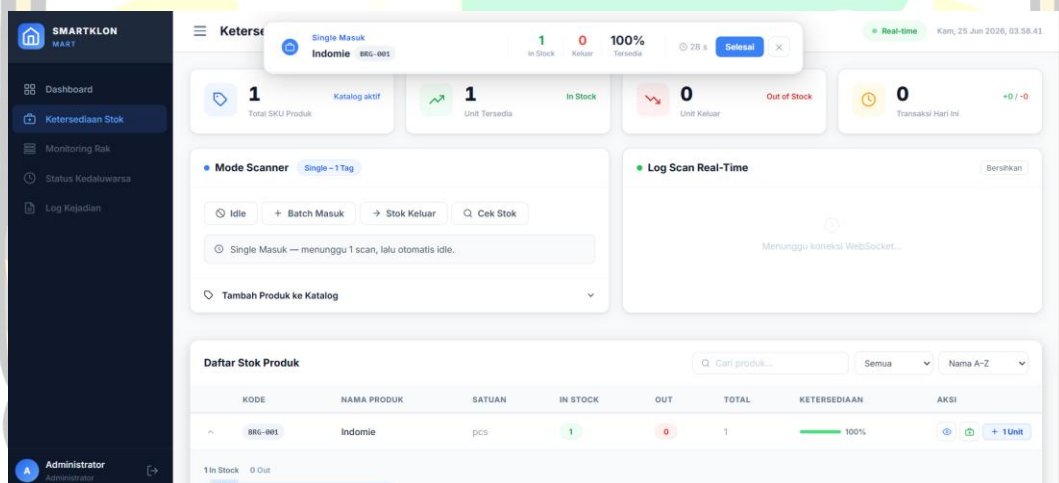


Gambar 4. 24 Overlay Batch Masuk



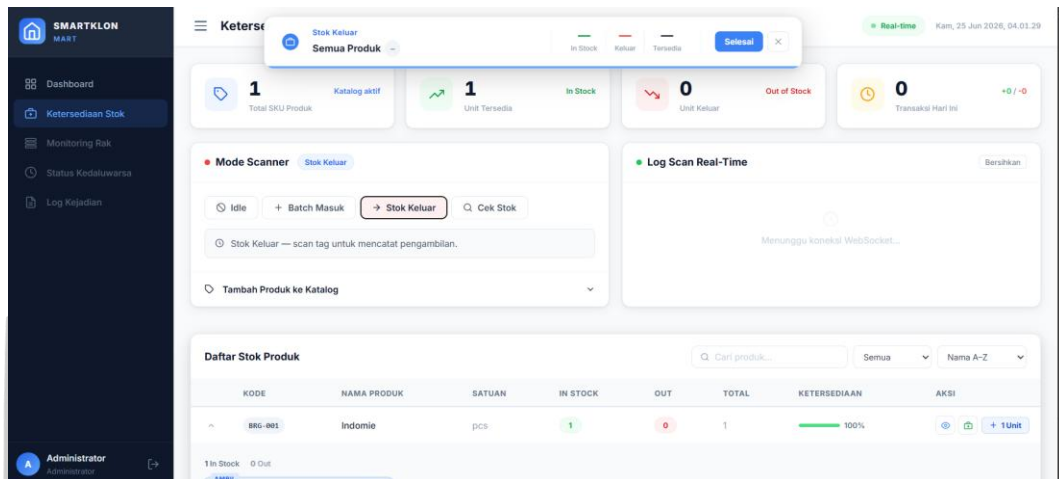
Gambar 4. 25 Proses Menunggu Batch Masuk

Alur Single In bekerja lebih singkat. Administrator cukup menekan tombol "+1 Unit" pada baris produk yang diinginkan. Sistem langsung mengaktifkan mode menunggu satu scan dengan hitung mundur 30 detik yang ditampilkan pada overlay. Setelah satu tag berhasil terbaca, mode kembali ke idle secara otomatis, overlay tertutup, dan notifikasi keberhasilan muncul sebentar di bagian atas layar.



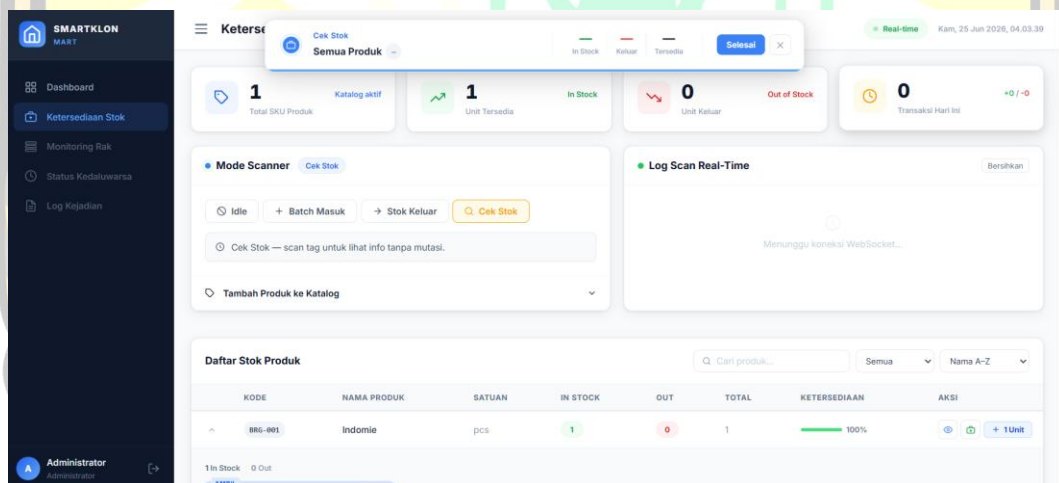
Gambar 4. 26 Proses Single Stok Masuk

Selanjutnya adalah stok keluar, dimana fitur ini akan secara otomatis menunggu seluruh tag yang dibaca, dan melakukan pencarian apakah tag yang di-scan berada di tag masuk. Jika ada, maka id tag akan ditandai keluar. Fitur stok keluar akan berjalan secara terus menerus hingga dihentikan secara manual.



Gambar 4. 27 Proses Stok Keluar

Fitur terakhir pada website ini adalah cek stok, dimana fitur ini memiliki mekanisme yang sama seperti batch masuk ataupun stok keluar. Setiap tag yang di scan, secara otomatis server akan mencari item dengan tag berbeda namun memiliki kode_barang yang sama (artinya merupakan barang yang sama, berbeda tag). Tampilan akan mengembalikan total jumlah stok masuk dan stok keluar. Fitur ini hanya akan berhenti apabila dihentikan secara manual.



Gambar 4. 28 Proses Cek Stok

Kode penuh dari antarmuka website tersedia pada Lampiran 2.

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan sistem yang diimplementasikan berhasil memenuhi spesifikasi yang telah direncanakan pada bagian sebelumnya.

Ini berkaitan dengan efektivitas sistem dalam menjadi solusi dari permasalahan yang diangkat, yaitu pencatatan stok pada toko kelontong yang lebih optimal. Pengujian yang dilakukan meliputi identifikasi dan pembacaan data barang; pencatatan transaksi barang masuk dan keluar; pembaruan data stok ke basis data; pemantauan ketersediaan stok melalui website; dan, dapat memberikan notifikasi secara audio dan visual.

4.2.1 Pengujian UHF RFID Reader Electron HW-VX-6330K dan Tag RFID UHF.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak optimal bagi RFID untuk membaca tag yang terpasang pada stok. RFID yang digunakan menggunakan frekuensi 902 - 928 MHz, sehingga secara tertulis memiliki kemampuan pancaran yang tinggi. Pengujian ini juga akan membuktikan jarak terjauh yang dapat dijangkau dengan menggunakan tag yang telah direncanakan sebelumnya.

4.2.1.1 Langkah Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan Tag RFID UHF pada kemasan terluar dari barang yang akan menjadi stok dari toko kelontong. Dalam pengujian ini, label akan ditempelkan pada dus dari stok barang. Contoh pemasangan label pada stok barang ditunjukkan pada Gambar 4.29 berikut.



Gambar 4. 29 Pemasangan Label pada Dus Stok Barang

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan mengaktifkan sistem yang sudah terintegrasi dengan UHF RFID Reader. Dilakukan percobaan untuk melakukan

scan dari tag yang sudah terpasang di setiap dus. Posisi pembacaan tag label harus tepat berada di sisi depan dari UHF RFID Reader. Contoh penggunaan RFID dan Tag label yang sesuai ditunjukkan pada Gambar 4.30 berikut.



Gambar 4. 30 Posisi Scan Produk terhadap UHF RFID Reader

Terdapat skenario jarak pengujian untuk pengukuran pada jarak yang berbeda, dimulai dari 1 hingga 8 meter yang akan diukur dengan bantuan pita ukur. Pengujian dilakukan di salah satu gudang di toko kelontong, dimana sistem yang telah diimplementasikan juga telah di set-up pada toko kelontong tersebut. Pemasangan sistem pada toko kelontong ditunjukkan pada Gambar 4.31 berikut.

Pembacaan tag dilakukan secara satu per satu, ini disebabkan keterbatasan perangkat keras yang digunakan hanya mampu menangani satu tag dalam satu waktu, serta telah dilakukan percobaan untuk melakukan pembacaan beberapa tag dalam satu waktu, yang menghasilkan tetap satu bacaan tag dalam satu waktu. Untuk efektivitas dalam pengujian, produk akan di baca secara satu per satu, dan tidak melakukan pembacaan beberapa tag sekaligus.



Gambar 4. 31 Implementasi Sistem pada Gudang Toko Kelontong

Dari pengujian ini, kriteria yang harus dipenuhi adalah reader berhasil membaca tag RFID secara benar dengan akurasi $\geq 95\%$ pada rentang jarak 1 – 8 meter.

4.2.1.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pembacaan UHF RFID Reader pada berbagai skenario pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pembacaan RFID Reader berdasarkan Jarak

Jarak (meter)	Jumlah tag yang diuji	Jumlah tag berhasil dibaca
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5

6	5	5
7	5	5
8	5	3

4.2.1.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data empiris hasil pengujian performa pemindaian yang dipaparkan pada Tabel 4.4, perangkat UHF RFID Reader Electron HW-VX-6330K menunjukkan tingkat konsistensi dan reliabilitas yang sangat tinggi ketika berinteraksi dengan Tag RFID UHF yang ditempelkan pada kemasan dus stok barang. Karakteristik frekuensi tinggi (902 hingga 928 MHz) yang diadopsi oleh sistem terbukti memberikan daya pancar gelombang elektromagnetik yang kuat dan stabil, sehingga mampu mengeksekusi proses identifikasi secara instan dengan tingkat keberhasilan mutlak sebesar 100% pada rentang jarak 1 meter hingga mencapai 7 meter. Keberhasilan menyeluruh pada jarak interkoneksi ini mengonfirmasi bahwa penyerapan daya dan pancaran balik dari antena *passive tag* terpasang masih berada dalam batas ambang sensitivitas pemrosesan *reader*, meskipun terhalang oleh material eksterior pembungkus stok barang toko kelontong.

Meskipun sistem mengalami deviasi minor tepat pada jarak 8 meter, secara akumulatif total pengujian dari seluruh skenario menghasilkan nilai rata-rata akurasi pemindaian sebesar 95% (38 tag berhasil diidentifikasi secara tepat dari 40 total percobaan pemindaian). Melalui kalkulasi kumulatif tersebut, sistem manajemen stok ini dinyatakan secara sah telah memenuhi dan melampaui kriteria keberhasilan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu dengan target akurasi $\geq 95\%$. Kemampuan jangkauan optimal yang stabil hingga radius 7 meter ini memberikan dampak operasional yang sangat signifikan bagi toko kelontong, karena petugas gudang dapat melakukan pemindaian inventaris secara massal (*bulk scanning*) dengan cepat, aman, dan efisien tanpa harus mendekati atau membongkar susunan dus barang satu per satu.

Pembacaan tag tidak dipengaruhi oleh faktor seperti intensitas cahaya, dan jumlah produk dalam ruangan. Ini disebabkan pembacaan yang digunakan antara tag dan RFID menggunakan gelombang radio, sehingga jika tidak ada gelombang radio lainnya dengan frekuensi yang sama mengintervensi dalam proses pengujian, maka tidak akan ada gangguan dalam proses pembacaan tag.

4.2.2 Pengujian UHF RFID Reader dan ESP32

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi keandalan dan stabilitas sistem dalam mencatat transaksi barang masuk serta barang keluar secara otomatis dan berkelanjutan. Fokus utama dari pengujian ini adalah memastikan perangkat UHF RFID Reader dan ESP32 dapat memproses pemindaian massal secara real-time dengan volume lalu lintas data yang tinggi (minimal 100 transaksi) tanpa mengalami kehilangan paket data (data loss) maupun pencatatan ganda (data duplication).

Pengujian dilakukan dengan mengombinasikan seluruh fitur yang ada pada sistem smartklon, yaitu pencatatan barang masuk (transaksi masuk), dan pencatatan barang keluar (transaksi keluar). Ini memastikan hasil pengujian benar-benar merepresentasikan kondisi nyata gudang toko kelontong yang memiliki transaksi berfrekuensi tinggi setiap harinya.

4.2.2.1 Langkah Pengujian

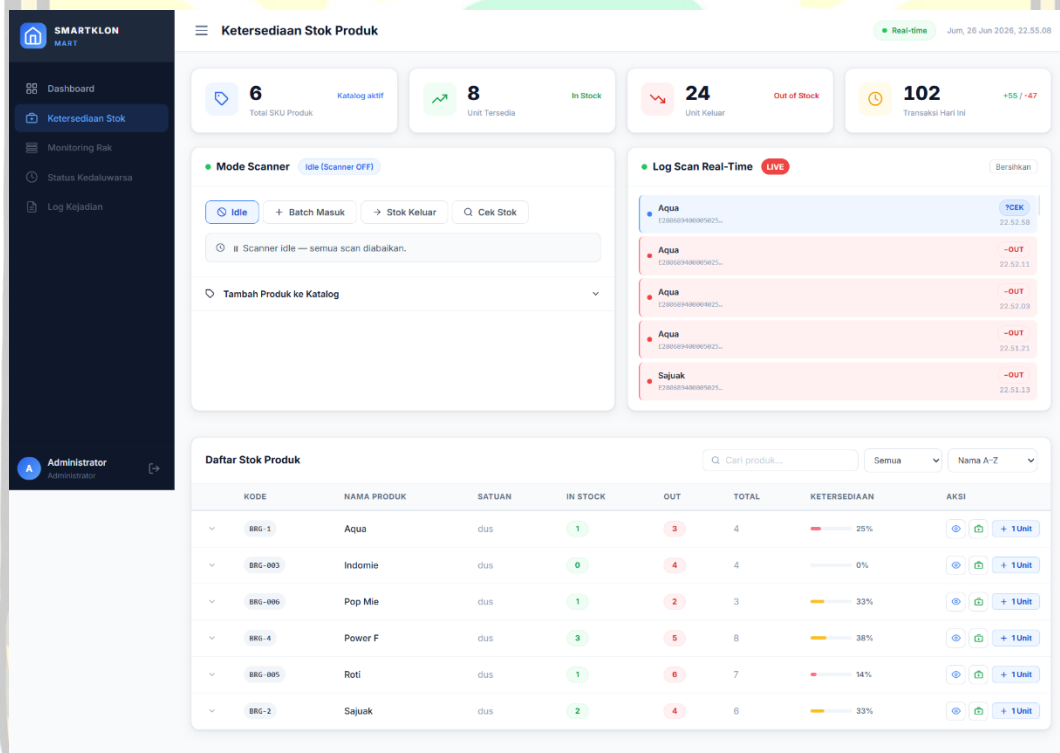
Langkah pengujian diawali dengan mengondisikan seluruh perangkat keras utama, meliputi UHF RFID Reader dan ESP32, dalam status operasional aktif dan terhubung secara konstan dengan server web SMARTKLON melalui jaringan internet. Penguji kemudian menyiapkan sejumlah sampel produk toko kelontong yang telah ditemeli Tag RFID UHF terdaftar untuk disimulasikan sebagai barang masuk dan barang keluar.

Simulasi transaksi dilakukan secara berulang dan bergantian dengan melewati produk pada area jangkauan sensor UHF RFID Reader. Skenario diatur dengan mengubah mode operasional pada antarmuka web, yaitu memilih fitur Batch Masuk untuk merekam pasokan barang baru dan fitur Stok Keluar untuk merekam pengurangan barang akibat penjualan atau pemindahan stok. Setiap kali produk

dipindai, penguji mencatat data transaksi aktual secara manual sebagai pembanding baku. Proses simulasi ini terus diulang secara intensif hingga melampaui ambang batas minimal 100 kali pemindaian dalam satu hari operasional. Tahap akhir pengujian dilakukan dengan mencocokkan total log kalkulasi transaksi otomatis pada dashboard web dengan catatan fisik riwayat pengujian manual.

4.2.2.2 Hasil Pengujian

Hasil pencatatan seluruh transaksi yang berhasil dicatat oleh sistem *website smartklon*, ditunjukkan pada Gambar 4.32 berikut.



Gambar 4. 32 Hasil Pencatatan Transaksi pada Website

Hasil pencatatan basis data dan jumlah transaksi yang dikembalikan oleh basis data ditunjukkan oleh Gambar 4.33 berikut

id	epc_id	type	created_at	updated_at
1	E28068940000502537820115	in	2026-06-26 15:19:56	2026-06-26 15:19:56
2	E28068940000402537820515	in	2026-06-26 15:20:10	2026-06-26 15:20:10
3	E28068940000402537820915	in	2026-06-26 15:20:22	2026-06-26 15:20:22
4	E28068940000502537820D15	in	2026-06-26 15:20:34	2026-06-26 15:20:34
5	E28068940000402537821115	in	2026-06-26 15:21:29	2026-06-26 15:21:29
6	E28068940000502537821515	in	2026-06-26 15:21:41	2026-06-26 15:21:41
7	E28068940000502537821915	in	2026-06-26 15:21:53	2026-06-26 15:21:53
8	E28068940000402537821D15	in	2026-06-26 15:22:03	2026-06-26 15:22:03
9	E28068940000502537822515	in	2026-06-26 15:22:13	2026-06-26 15:22:13
10	E28068940000402537822115	in	2026-06-26 15:22:17	2026-06-26 15:22:17
11	E2806894000040253781ED15	in	2026-06-26 15:27:05	2026-06-26 15:27:05
12	E280689150000401B22B859F5	in	2026-06-26 15:27:09	2026-06-26 15:27:09
13	E2806894000040253781DD15	in	2026-06-26 15:27:21	2026-06-26 15:27:21
14	E2806894000050253781E915	in	2026-06-26 15:27:27	2026-06-26 15:27:27
15	E2806894000050253781D515	in	2026-06-26 15:28:28	2026-06-26 15:28:28
16	E2806894000040253781E115	in	2026-06-26 15:28:33	2026-06-26 15:28:33
17	E2806894000050253781E515	in	2026-06-26 15:28:37	2026-06-26 15:28:37
18	E280689150000401B22B869F5	in	2026-06-26 15:28:41	2026-06-26 15:28:41

Gambar 4. 33 Hasil Basis Data Tabel Transactions

Hasil pengujian pencatatan arus log transaksi berbasis pemindaian Tag RFID UHF dirangkum secara mendetail dalam Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Validasi Arus Transaksi Produk

Jenis Transaksi	Transaksi Aktual	Transaksi Tercatat
Barang masuk (In Stock)	45	45
Barang keluar (Out Stock)	57	57
Total Akumulasi	102	102

4.2.2.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data empiris hasil pengujian integrasi yang dipaparkan pada Tabel 4.2 serta bukti visual rekaman antarmuka dan basis data pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30, diperoleh analisis mendalam bahwa mekanisme otomasi pencatatan arus log barang pada sistem SMARTKLON menunjukkan tingkat resiliensi, stabilitas, dan akurasi yang tinggi. Melalui pengujian operasional yang dilakukan dalam satu hari penuh, sistem secara otomatis berhasil mendokumentasikan total 102 transaksi

aktual yang terbagi atas 45 aktivitas pencatatan barang masuk serta 57 aktivitas pencatatan barang keluar. Pencapaian volume data ini membuktikan bahwa sistem telah melampaui kriteria beban batas minimal yang dipersyaratkan dalam spesifikasi pengujian, yaitu minimal sebesar 100 transaksi per hari.

Keberhasilan pemrosesan data bervolume tinggi dengan frekuensi rapat ini dipengaruhi secara signifikan oleh implementasi protokol komunikasi WebSocket yang berjalan di dalam satu area jaringan lokal yang sama. Berbeda dengan protokol HTTP konvensional yang bersifat request-response dan searah, karakteristik full-duplex pada WebSocket memungkinkan mikrokontroler ESP32 dan server web SMARTKLON untuk mempertahankan koneksi persisten yang terbuka secara dua arah. Ketika UHF RFID Reader Electron HW-VX-6330K mendeteksi string ID unik dari tag RFID pada dus barang, ESP32 dapat langsung menyalurkan paket data payload tersebut ke server melalui TCP socket yang sudah terbuka tanpa perlu melakukan proses handshake berulang kali. Ini menyebabkan server dapat segera melakukan pemeriksaan tag yang telah dibaca oleh RFID Reader, dan memberikan respons balikan secara akurat.

4.2.3 Pengujian ESP32 dan koneksi WiFi

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur efisiensi performa waktu respons (response time) sistem SMARTKLON, mulai dari titik awal Tag RFID terbaca oleh perangkat keras hingga data tersebut sukses tersimpan di dalam basis data dan terdistribusi ke antarmuka website. Aspek keandalan jaringan Wi-Fi lokal dan kecepatan pemrosesan query basis data menjadi parameter kritis dalam pengujian ini untuk memastikan pembaruan informasi stok terjadi secara instan tanpa adanya tundaan (delay) yang menghambat aktivitas operasional gudang.

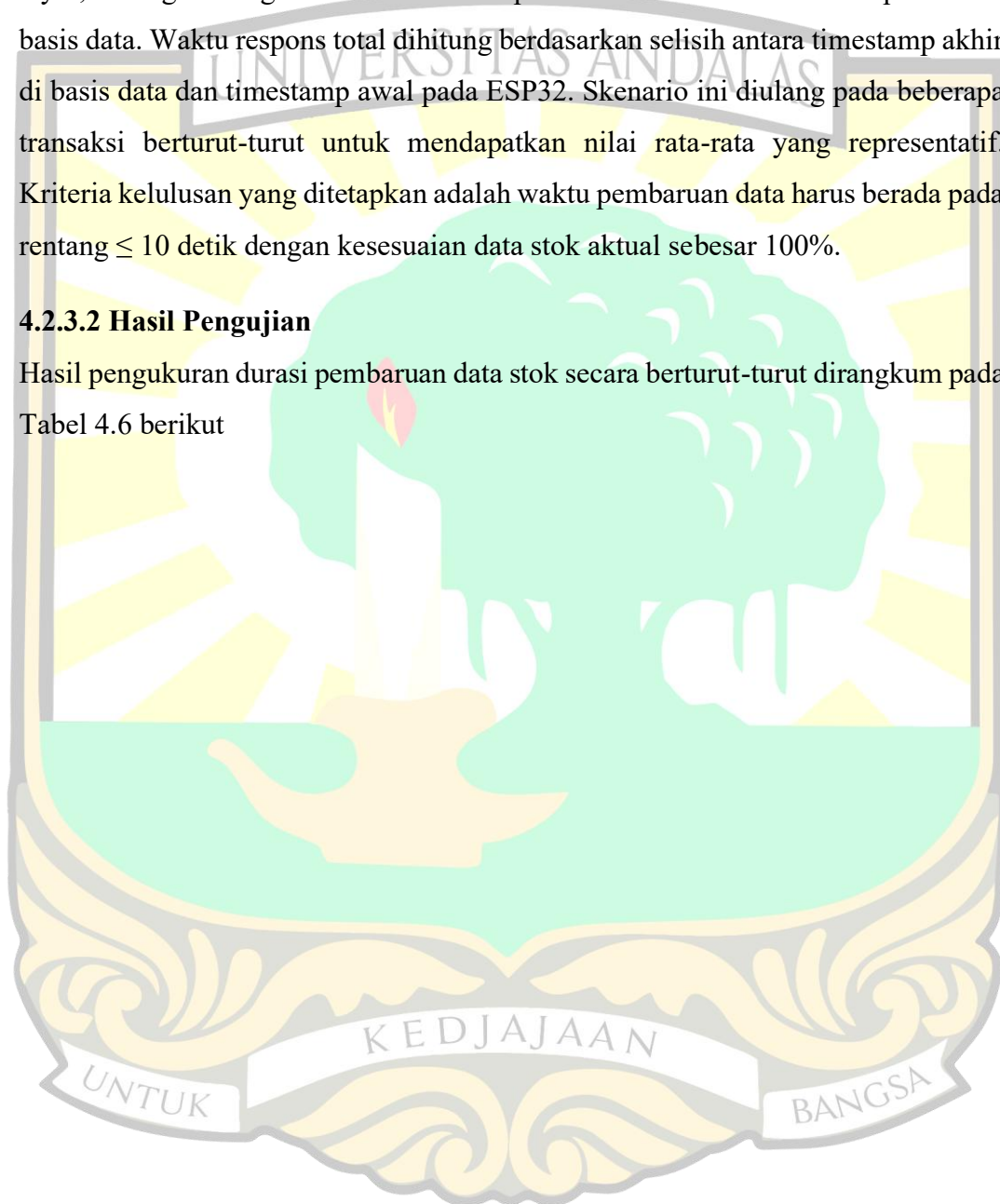
4.2.3.1 Langkah Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mempersiapkan perangkat UHF RFID Reader, ESP32, dan komputer server dalam satu jaringan lokal (LAN) berbasis Wi-Fi yang sama. Penguji kemudian membuka konsol log waktu (timestamp) pada sisi firmware mikrokontroler (melalui Serial Monitor) serta log waktu pencatatan pada server database backend web SMARTKLON untuk melacak pergerakan paket data secara presisi.

Proses pengujian dimulai dengan melakukan pemindaian terhadap beberapa sampel produk secara berturut-turut. Ketika tag RFID berhasil terbaca, sistem akan mencatat timestamp awal pengiriman data. Selanjutnya, penguji memantau antarmuka website untuk memastikan data stok terbaru langsung ter-render pada layar, sekaligus mengambil data timestamp akhir saat data sukses tertulis pada tabel basis data. Waktu respons total dihitung berdasarkan selisih antara timestamp akhir di basis data dan timestamp awal pada ESP32. Skenario ini diulang pada beberapa transaksi berturut-turut untuk mendapatkan nilai rata-rata yang representatif. Kriteria kelulusan yang ditetapkan adalah waktu pembaruan data harus berada pada rentang ≤ 10 detik dengan kesesuaian data stok aktual sebesar 100%.

4.2.3.2 Hasil Pengujian

Hasil pengukuran durasi pembaruan data stok secara berturut-turut dirangkum pada Tabel 4.6 berikut

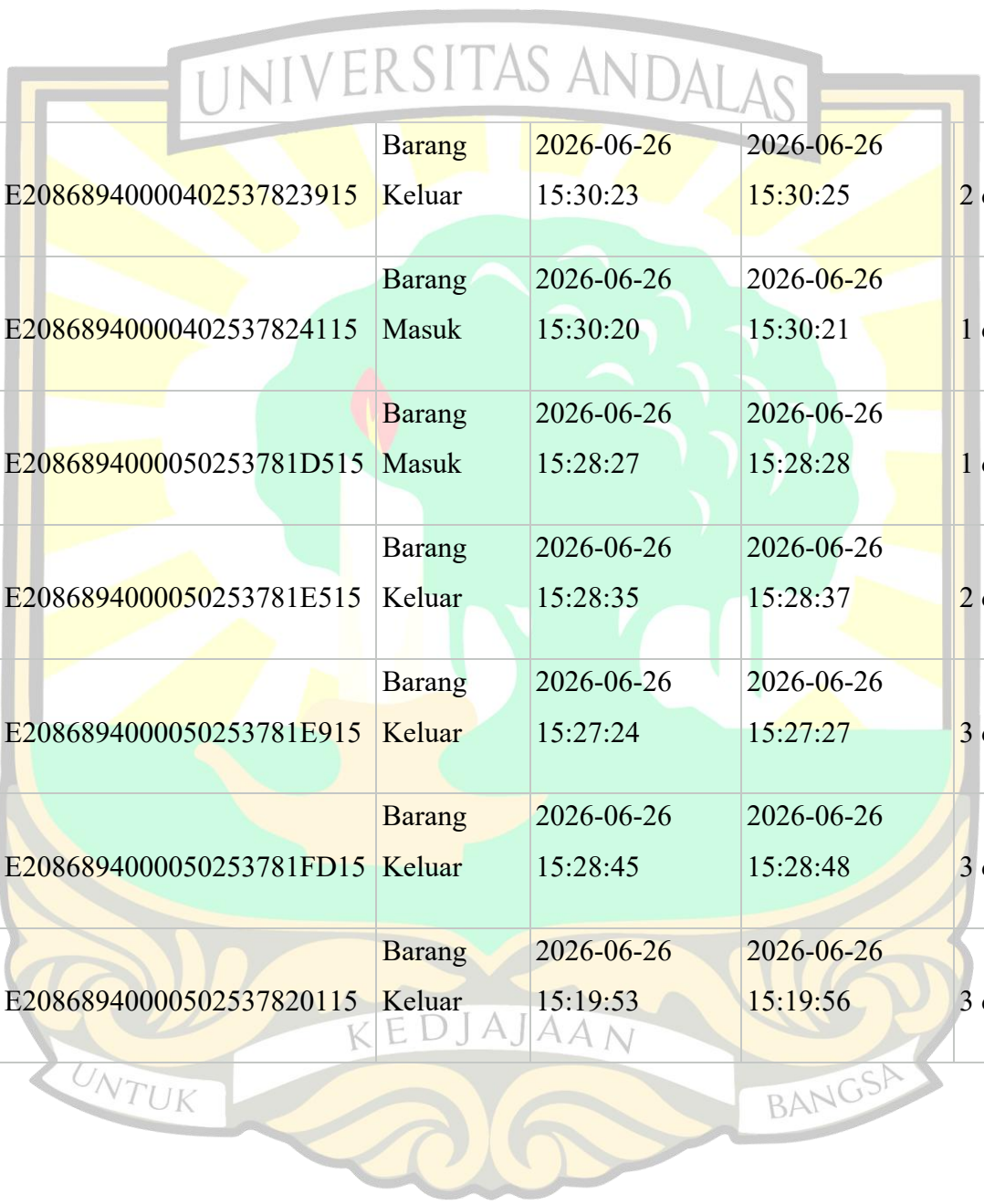


Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Waktu Respons Pembaruan Data Stok

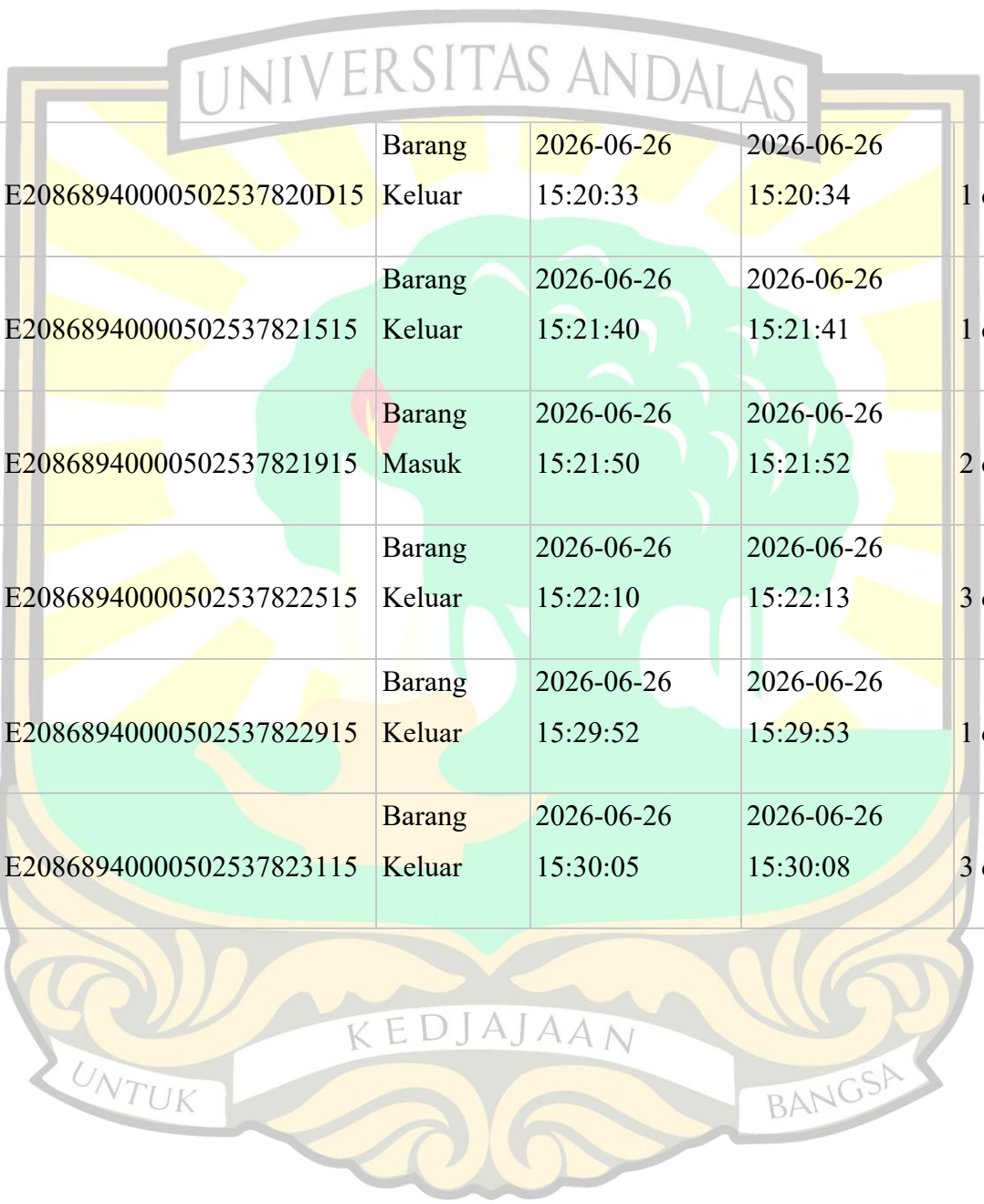
No. Transaksi	ID Produk / Nama Barang	EPC ID (Tag RFID)	Status Transaksi	Timestamp Pembacaan ESP32	Timestamp Tersimpan Database	Selisih Waktu (Response Time)	Status Pengujian
1	BRG-003 (Indomie)	E2086894000040253781DD15	Barang Keluar	2026-06-26 15:27:19	2026-06-26 15:27:21	2 detik	Berhasil
2	BRG-4 (Power F)	E2086894000040253781E115	Barang Masuk	2026-06-26 15:28:30	2026-06-26 15:28:33	3 detik	Berhasil
3	BRG-003 (Indomie)	E2086894000040253781ED15	Barang Keluar	2026-06-26 15:27:02	2026-06-26 15:27:05	3 detik	Berhasil
4	BRG-4 (Power F)	E2086894000040253781F515	Barang Keluar	2026-06-26 15:29:01	2026-06-26 15:29:02	1 detik	Berhasil
5	BRG-4 (Power F)	E2086894000040253781F915	Barang Keluar	2026-06-26 15:28:50	2026-06-26 15:28:52	2 detik	Berhasil



6	BRG-1 (Aqua)	E20868940000402537820515	Barang Masuk	2026-06-26 15:20:05	2026-06-26 15:20:10	5 detik	Berhasil
7	BRG-1 (Aqua)	E20868940000402537820915	Barang Keluar	2026-06-26 15:20:20	2026-06-26 15:20:22	2 detik	Berhasil
8	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000402537821115	Barang Keluar	2026-06-26 15:21:28	2026-06-26 15:21:29	1 detik	Berhasil
9	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000402537821D15	Barang Keluar	2026-06-26 15:22:02	2026-06-26 15:22:03	1 detik	Berhasil
10	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000402537822115	Barang Masuk	2026-06-26 15:22:15	2026-06-26 15:22:17	2 detik	Berhasil
11	BRG-005 (Roti)	E20868940000402537822D15	Barang Keluar	2026-06-26 15:29:54	2026-06-26 15:29:56	2 detik	Berhasil
12	BRG-005 (Roti)	E20868940000402537823515	Barang Keluar	2026-06-26 15:30:10	2026-06-26 15:30:12	2 detik	Berhasil



13	BRG-005 (Roti)	E20868940000402537823915	Barang Keluar	2026-06-26 15:30:23	2026-06-26 15:30:25	2 detik	Berhasil
14	BRG-005 (Roti)	E20868940000402537824115	Barang Masuk	2026-06-26 15:30:20	2026-06-26 15:30:21	1 detik	Berhasil
15	BRG-4 (Power F)	E2086894000050253781D515	Barang Masuk	2026-06-26 15:28:27	2026-06-26 15:28:28	1 detik	Berhasil
16	BRG-4 (Power F)	E2086894000050253781E515	Barang Keluar	2026-06-26 15:28:35	2026-06-26 15:28:37	2 detik	Berhasil
17	BRG-003 (Indomie)	E2086894000050253781E915	Barang Keluar	2026-06-26 15:27:24	2026-06-26 15:27:27	3 detik	Berhasil
18	BRG-4 (Power F)	E2086894000050253781FD15	Barang Keluar	2026-06-26 15:28:45	2026-06-26 15:28:48	3 detik	Berhasil
19	BRG-1 (Aqua)	E20868940000502537820115	Barang Keluar	2026-06-26 15:19:53	2026-06-26 15:19:56	3 detik	Berhasil



20	BRG-1 (Aqua)	E20868940000502537820D15	Barang Keluar	2026-06-26 15:20:33	2026-06-26 15:20:34	1 detik	Berhasil
21	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000502537821515	Barang Keluar	2026-06-26 15:21:40	2026-06-26 15:21:41	1 detik	Berhasil
22	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000502537821915	Barang Masuk	2026-06-26 15:21:50	2026-06-26 15:21:52	2 detik	Berhasil
23	BRG-2 (Sajuak)	E20868940000502537822515	Barang Keluar	2026-06-26 15:22:10	2026-06-26 15:22:13	3 detik	Berhasil
24	BRG-005 (Roti)	E20868940000502537822915	Barang Keluar	2026-06-26 15:29:52	2026-06-26 15:29:53	1 detik	Berhasil
25	BRG-005 (Roti)	E20868940000502537823115	Barang Keluar	2026-06-26 15:30:05	2026-06-26 15:30:08	3 detik	Berhasil

4.2.3.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data kuantitatif pengujian latensi pembaruan data yang tertera pada Tabel 4.6 serta sinkronisasi basis data pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33, diperoleh analisis bahwa sistem smartklon memiliki performa yang sesuai dengan spesifikasi. Dari total 25 sampel transaksi berturut-turut yang disimulasikan secara acak untuk melacak pergerakan paket data dari sisi perangkat keras menuju sistem penyimpanan, waktu pembaruan data tercepat mampu menyentuh angka 1 detik, sementara waktu pemrosesan paling lama berada pada angka 5 detik. Secara akumulatif, nilai rata-rata durasi waktu respons (*response time*) dari keseluruhan 25 pengujian transaksi ini berada di kisaran 1,92 detik. Hasil nyata di lapangan ini secara mutlak membuktikan bahwa alur pengiriman data sistem telah berhasil memenuhi dan melampaui kriteria kelulusan spesifikasi fungsional yang ditargetkan, yaitu batas waktu pembaruan data ≤ 10 detik dengan tingkat kesesuaian informasi stok aktual sebesar 100%.

Kecepatan durasi pemrosesan data yang mampu ditekan hingga di bawah radius 2 detik ini dipengaruhi secara signifikan oleh dua faktor teknis utama, yaitu keandalan infrastruktur jaringan Wi-Fi lokal serta implementasi protokol komunikasi nirkabel berbasis WebSocket *full-duplex*. Penggunaan satu area jaringan lokal (LAN) yang sama tanpa melibatkan jalur internet publik eksternal secara drastis memangkas jumlah lompatan paket data (*network hops*) dan menghindari fluktuasi latensi jaringan publik.

4.2.4 Pengujian ESP32 dan Antarmuka Website

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi aspek fungsionalitas, validitas, dan konsistensi visual pada antarmuka website smartklon dalam menampilkan data ketersediaan stok produk. Fokus utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa setiap perubahan data yang terjadi di dalam basis data akibat transaksi barang masuk maupun barang keluar dapat langsung ter-render pada komponen User Interface (UI) website secara otomatis, sinkron, dan bebas dari kesalahan penampilan informasi (*rendering error*).

4.2.4.1 Langkah Pengujian

Pengujian diawali dengan membuka peramban (web browser) dan mengakses halaman utama dashboard manajemen stok pada sistem smartklon menggunakan akun administrator. Penguji memastikan tampilan awal widget ringkasan stok (seperti jumlah total SKU produk, unit tersedia, unit keluar, dan grafik persentase ketersediaan) berada dalam kondisi normal.

Skenario pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan data pada website sesaat setelah perangkat keras (ESP32 dan UHF RFID Reader) mengirimkan data transaksi baru yang telah sukses masuk ke dalam basis data. Penguji secara visual memeriksa tabel Daftar Stok Produk untuk melihat apakah kolom nama barang, kode barang, jumlah stok masuk (in stock), jumlah stok keluar (out), total akumulasi, hingga indikator persentase ketersediaan langsung berubah nilainya tanpa perlu melakukan penyegaran halaman secara manual (manual page refresh). Langkah terakhir adalah mencocokkan secara mendetail angka-angka yang tertera pada antarmuka web dengan baris data riil yang ada pada tabel transactions di basis data. Kriteria kelulusan sistem mencakup pembaruan data UI secara otomatis, konsistensi data 100% terhadap basis data, serta nihilnya kesalahan elemen visual pada website.

Dalam pengujian, digunakan query tambahan untuk melakukan perhitungan total stok berdasarkan seluruh transaksi yang terjadi, kemudian membandingkan hasil keluaran query tersebut dengan nilai yang tertulis pada dashboard *website*. Hal ini disebabkan basis data yang diimplementasikan saat ini tidak menggunakan value pasti dari jumlah stok, melainkan perhitungan dilakukan dengan menghitung jumlah transaksi yang terkait dengan id masing-masing stok. Query yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.34 berikut.

```

SELECT
    i.nama_barang,
    (SUM(CASE WHEN t.type = 'in' THEN 1 ELSE 0 END) -
     SUM(CASE WHEN t.type = 'out' THEN 1 ELSE 0 END)) AS total_stok
FROM
    items i
LEFT JOIN
    tags tg ON i.id = tg.item_id
LEFT JOIN
    transactions t ON tg.epc_id = t.epc_id
GROUP BY
    i.id, i.nama_barang
ORDER BY
    i.nama_barang ASC;

```

Gambar 4. 34 Query SQL untuk Perbandingan dengan Basis Data

4.2.4.2 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil menjalankan query dari basis data yang digunakan, didapatkan output yang ditunjukkan pada Gambar 4.35 berikut.

nama_barang	total_stok
Aqua	1
Indomie	0
Pop Mie	1
Power F	3
Roti	1
Sajuak	2

Gambar 4. 35 Total Stok dari Hasil Query

Hasil pengujian yang ditampilkan oleh antarmuka *website* ditunjukkan pada Gambar 4.36 berikut.

KODE	NAMA PRODUK	SATUAN	IN STOCK	OUT	TOTAL	KETERSEDIAAN	AKSI
BRG-1	Aqua	dus	1	3	4	25%	+ 1 Unit
BRG-003	Indomie	dus	0	4	4	0%	+ 1 Unit
BRG-006	Pop Mie	dus	1	2	3	33%	+ 1 Unit
BRG-4	Power F	dus	3	5	8	38%	+ 1 Unit
BRG-005	Roti	dus	1	6	7	14%	+ 1 Unit
BRG-2	Sajuak	dus	2	4	6	33%	+ 1 Unit

Gambar 4. 36 Hasil Stok pada Antarmuka Website

Perbandingan hasil antarmuka *website* dengan hasil query dari database dijabarkan pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Perbandingan Stok Basis Data dengan Antarmuka Website

Nama Produk	Kode Barang	Jumlah stok di DB	Jumlah stok di Web	Status / Tampilan Visual
Aqua	BRG-1	1	1	Normal / Tanpa Error
Sajuak	BRG-2	2	2	Normal / Tanpa Error
Indomie	BRG-003	0	0	Normal / Tanpa Error
Power F	BRG-4	3	3	Normal / Tanpa Error
Roti	BRG-005	1	1	Normal / Tanpa Error
Pop Mie	BRG-006	1	1	Normal / Tanpa Error

4.2.4.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil evaluasi fungsional yang dipaparkan pada Tabel 4.4 serta merujuk pada dokumentasi antarmuka Gambar 4.33, sistem smartklon menunjukkan performa penyajian informasi stok yang sangat konsisten dan akurat. Melalui pengamatan visual langsung pada tabel Daftar Stok Produk, seluruh komputasi kalkulasi dinamis untuk setiap item (seperti Aqua dengan kode BRG-1

yang menyisakan 1 unit stok serta Indomie dengan kode BRG-003 yang menunjukkan status 0 unit atau Out of Stock) terbukti tampil secara tepat. Data kuantitatif tersebut sinkron secara mutlak dengan isi baris record item_id dan status transaksi di dalam basis data backend, tanpa ditemukan adanya distorsi angka atau ketidaksesuaian nilai pada komponen layar.

Keberhasilan mekanisme pembaruan data secara otomatis tanpa memerlukan intervensi penyegaran halaman (refresh) oleh pengguna didorong oleh pemanfaatan arsitektur *reactive programming* pada sisi front-end yang terintegrasi langsung dengan saluran komunikasi WebSocket lokal. Begitu basis data menerima pasokan riwayat transaksi baru dari ESP32, server web akan langsung menyiarkan data mutasi tersebut ke aplikasi web. Komponen antarmuka pengguna secara responsif langsung menangkap perubahan state tersebut dan memperbarui baris tabel yang bersangkutan dalam hitungan milidetik. Selain fungsionalitas tabel, elemen visual pelukung seperti komponen bar warna indikator ketersediaan stok (progress bar) juga berhasil melakukan kalkulasi persentase secara dinamis tanpa memicu terjadinya flicker atau kegagalan pemuatan grafik pada peramban.

4.2.5 Pengujian Notifikasi Audio dan Visual pada Perangkat Keras

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi performa sub-sistem output pada perangkat keras berupa buzzer sebagai indikator audio dan LCD I2C sebagai indikator visual. Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan umpan balik (feedback) yang instan, akurat, dan sinkron kepada petugas gudang sesaat setelah Tag RFID dipindai, sehingga status kelayakan transaksi dapat diketahui secara langsung di lapangan tanpa harus selalu memantau layar monitor komputer.

4.2.5.1 Langkah Pengujian

Pengujian diawali dengan memastikan komponen *buzzer* dan LCD I2C telah terintegrasi dengan pin *General Purpose Input Output* (GPIO) pada mikrokontroler ESP32 sesuai konfigurasi *firmware*. Penguji kemudian menyiapkan empat skenario kondisi operasional yang berbeda untuk memicu variasi respons notifikasi dari sistem, yaitu: kondisi transaksi normal berhasil disimpan, kondisi perangkat

pemindai sedang dinonaktifkan via web (*scanner idle*), kondisi pemindaian *tag* asing yang belum terdaftar, serta kondisi kegagalan koneksi jaringan lokal.

Langkah berikutnya adalah mendekatkan *Tag RFID* ke area jangkauan *UHF RFID Reader* untuk setiap skenario yang telah ditentukan. Ketika data EPC ID dikirimkan menuju server melalui jaringan lokal, penguji secara cermat mengamati serta merekam pola bunyi *buzzer* (meliputi jumlah detak dan durasi suara) sekaligus membaca kesesuaian baris teks informasi yang ter-render pada layar LCD. Waktu respons dihitung sejak *buzzer* pertama kali berbunyi hingga teks status selesai ditampilkan secara utuh pada LCD. Kriteria kelulusan pengujian ini adalah sistem harus memberikan kombinasi notifikasi audio-visual secara sinkron, bebas dari kesalahan penampilan karakter, dan memiliki waktu respons di bawah rentang toleransi keselamatan ≤ 2 detik.

4.2.5.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian perangkat keras audio dan visual ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Audio Visual

N o	Skenario Kondisi	HTTP Code	Respons Audio (Buzzer)	Tampilan Visual (LCD I2C)	Jumlah Pengujia n	Rata – rata Waktu Respons
1	Transaksi Sukses Tersimpan	200	1 Beep Panjang (300 ms)	Baris 1: SUKSES! Tercatat Baris 2: [Pesan Konfirmasi]	3	1,2 detik
2	Mode Scanner Idle di Web	202	1 Beep Singkat (60 ms)	Baris 1: Scanner IDLE!	3	1,5 detik

				Baris 2: Set Mode di Web		
3	Pemindaian Tag Asing	404	3 Beep Cepat (80 ms)	Baris 1: Tag Asing! Baris 2: Daftar dulu!	3	1,7 detik
4	Konflik Tag Produk Lain	409	3 Beep Cepat (80 ms)	Baris 1: Tag Produk Lain! Baris 2: Cek di Web!	3	2,2 detik
5	Koneksi Jaringan Terputus	-1	3 Beep Cepat (80 ms)	Baris 1: Gagal Kirim! Baris 2: Server Mati?	3	1,5 detik

4.2.5.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data kualitatif dan kuantitatif hasil evaluasi yang terangkum pada Tabel 4.8, sub-sistem notifikasi audio dan visual pada perangkat keras smartklon menunjukkan performa operasional yang sangat adaptif dan andal dalam mendiversifikasi status transaksi. Melalui total 15 kali percobaan yang terbagi rata ke dalam lima skenario kondisi lingkungan aktual, interkoneksi perangkat keras terbukti mampu mengeksekusi transisi sinyal output secara konstan. Waktu pembaruan indikator visual pada modul LCD I2C serta bunyi peringatan pada *buzzer* secara umum berlangsung sangat responsif dengan pencatatan waktu rata-

rata berkisar antara 1,2 detik hingga 2,2 detik semenjak proses pengiriman data awal dari sisi perangkat keras dimulai.

Di sisi lain, pencatatan durasi rata-rata waktu respons sebesar 2,2 detik pada skenario keempat (HTTP 409 - Konflik Tag Produk Lain) merupakan sebuah anomali performa yang memerlukan perhatian khusus. Secara administratif, angka ini sedikit melewati ambang batas spesifikasi ideal sistem yang dipersyaratkan di awal, yaitu ≤ 2 detik. Kendati demikian, deviasi minor sebesar 0,2 detik tersebut dinilai masih berada dalam batas toleransi operasional yang wajar dan aman. Keterlambatan visualisasi ini dipicu oleh beban komputasi tambahan pada sisi server *backend* Laravel, di mana server harus mengeksekusi operasi pencarian silang (*cross-referencing*) yang lebih kompleks di dalam basis data untuk memeriksa relasi *epc_id* pada tabel *tags* sebelum memastikan bahwa *tag* bersangkutan telah terikat pada entitas produk yang berbeda. Kompleksitas *query* internal basis data inilah yang menyumbang sedikit waktu tunda ekstra (*latency*) sebelum kode status HTTP 409 berhasil dipancarkan kembali menuju ESP32.

4.2.6 Pengujian Keseluruhan Sistem pada Toko Kelontong

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan setelah seluruh sub-sistem dan spesifikasi fitur diuji secara parsial. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi alur operasional sistem smartklon secara menyeluruh (*end-to-end*), mulai dari proses pendaftaran produk baru, pengikatan (*binding*) ID unik Tag RFID, proses transaksi barang masuk dan keluar melalui pemindaian nirkabel perangkat keras, sinkronisasi otomatis via jaringan Wi-Fi lokal berbasis WebSocket, hingga validasi kalkulasi stok pada basis data. Pengujian integrasi ini disimulasikan menggunakan skenario riil operasional harian gudang toko kelontong.

4.2.6.1 Langkah Pengujian

Langkah pengujian diawali dengan mengondisikan perangkat keras (UHF RFID Reader, ESP32, dan LCD I2C) dalam status aktif dan terhubung secara lokal via Wi-Fi ke server web smartklon. Skenario pengujian dibagi menjadi 10 urutan integrasi berantai. Penguji melakukan input data master barang pada interface website, melakukan pemindaian fisik menggunakan tag RFID tertentu, mengubah mode operasional pemindai via web, serta melakukan pengecekan perubahan status

data secara langsung baik pada tampilan halaman dashboard admin maupun rekaman tabel database PHPMyAdmin.

4.2.6.2 Hasil Pengujian

Hasil skenario pengujian keseluruhan sistem secara berantai dirangkum secara mendetail pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Hasil Skenario Pengujian Keseluruhan Sistem Smartklon Ketersediaan Stok

Percobaan ke-	Skenario Prosedur Pengujian	Hasil Percobaan yang Diharapkan	Status
1	Menambahkan dan menyimpan data master barang baru via website dengan nama barang: Aqua, Satuan: dus, dan Kode Barang: BRG-1.	Data master barang sukses tersimpan dan sistem menghasilkan Kode Barang BRG-1 secara tepat pada katalog produk.	Berhasil
2	Mengaktifkan perangkat pemindai ke dalam mode Batch Masuk dari halaman kontrol web untuk merekam persediaan fisik.	Status pada web berubah menjadi mode Batch Masuk dan ESP32 siap menerima interupsi pembacaan sensor.	Berhasil
3	Memindai Tag RFID UHF pasif dengan epc_id: E20868940000402537820515 dari jarak 2 meter di depan reader.	Perangkat keras memicu bunyi 1 beep panjang , LCD menampilkan pesan sukses, dan tag otomatis terikat pada produk BRG-1 di	Berhasil

		basis data dengan status in_stock.	
4	Memindai kembali Tag RFID UHF kedua dengan epc_id: E20868940000502537820115 pada jarak 3 meter dari perangkat pemindai.	Buzzer aktif , LCD I2C memuat informasi sukses terkirim, dan tag kedua sukses terdaftar di bawah kelompok barang BRG-1.	Berhasil
5	Mengakses menu Ketersediaan Stok pada website untuk memantau pembaruan bagan data inventaris harian produk.	Tampilan tabel Daftar Stok Produk secara otomatis diperbarui (tanpa refresh) menunjukkan status In Stock bertambah menjadi 2 unit untuk produk Aqua.	Berhasil
6	Mengubah mode operasional pemindai pada antarmuka website menjadi fitur Stok Keluar (Out Stock) untuk simulasi pengeluaran barang.	Saluran WebSocket mengirimkan perubahan state ke ESP32, ditandai dengan bunyi beep konfirmasi pendek.	Berhasil
7	Mengeluarkan 1 unit barang Aqua dari gudang dengan cara melewati dus berlabel epc_id: E20868940000502537820115 di depan sensor.	Buzzer berbunyi , teks LCD berubah, dan sistem mengubah riwayat status tag tersebut menjadi out_of_stock di basis data.	Berhasil

8	Memeriksa tabel log mutasi barang masuk dan keluar murni pada komponen Log Scan Real-Time di sisi kanan halaman web.	Terlihat untaian riwayat aktivitas penyerapan barang berkode BRG-1 sukses tercatat dengan penanda label merah - OUT.	Berhasil
9	Memeriksa integritas data relasional pada baris tabel transaksi (table transactions) di dalam mesin basis data PHPMyAdmin.	Baris record epc_id yang bersangkutan memuat data waktu pembuatan data (created_at) yang sinkron secara linier dengan waktu mutasi barang fisik.	Berhasil
10	Melakukan pengujian mekanisme keselamatan darurat (fail-safe) dengan sengaja memutus koneksi Wi-Fi dari modem ke perangkat keras.	ESP32 mendeteksi hilangnya jaringan , memicu interupsi 3 beep cepat pada buzzer , dan menampilkan pesan teks "Gagal Kirim! Server Mati?" secara instan pada LCD.	Berhasil

4.2.6.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan visualisasi data berantai yang dijabarkan pada Tabel 4.9, diperoleh kesimpulan analisis bahwa pengujian *end-to-end* pada sistem SMARTKLON berhasil beroperasi secara sempurna tanpa ditemukannya malafungsi pada komponen transaksional. Alur siklus hidup produk, mulai dari pendaftaran entitas master barang pada website, proses pengikatan ID enkripsi *tag* RFID dari jarak bervariasi (2 dan 3 meter), hingga eksekusi mutasi log data barang masuk dan

barang keluar, dapat disinkronisasikan secara simultan dengan tingkat keberhasilan 100%.

Selain fungsionalitas normal, resiliensi sistem smartklon juga divalidasi dengan baik melalui skenario darurat ke-10. Kemampuan *firmware* dalam menangkap kegagalan koneksi (*network fault tolerance*) dan secara reaktif memicu indikasi audio serta pesan diagnostik pada LCD I2C memberikan tingkat jaminan proteksi data yang tinggi. Pengguna operasional (petugas toko) dipastikan dapat mendeteksi adanya kendala teknis secara dini tanpa risiko kehilangan pelacakan stok gudang.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

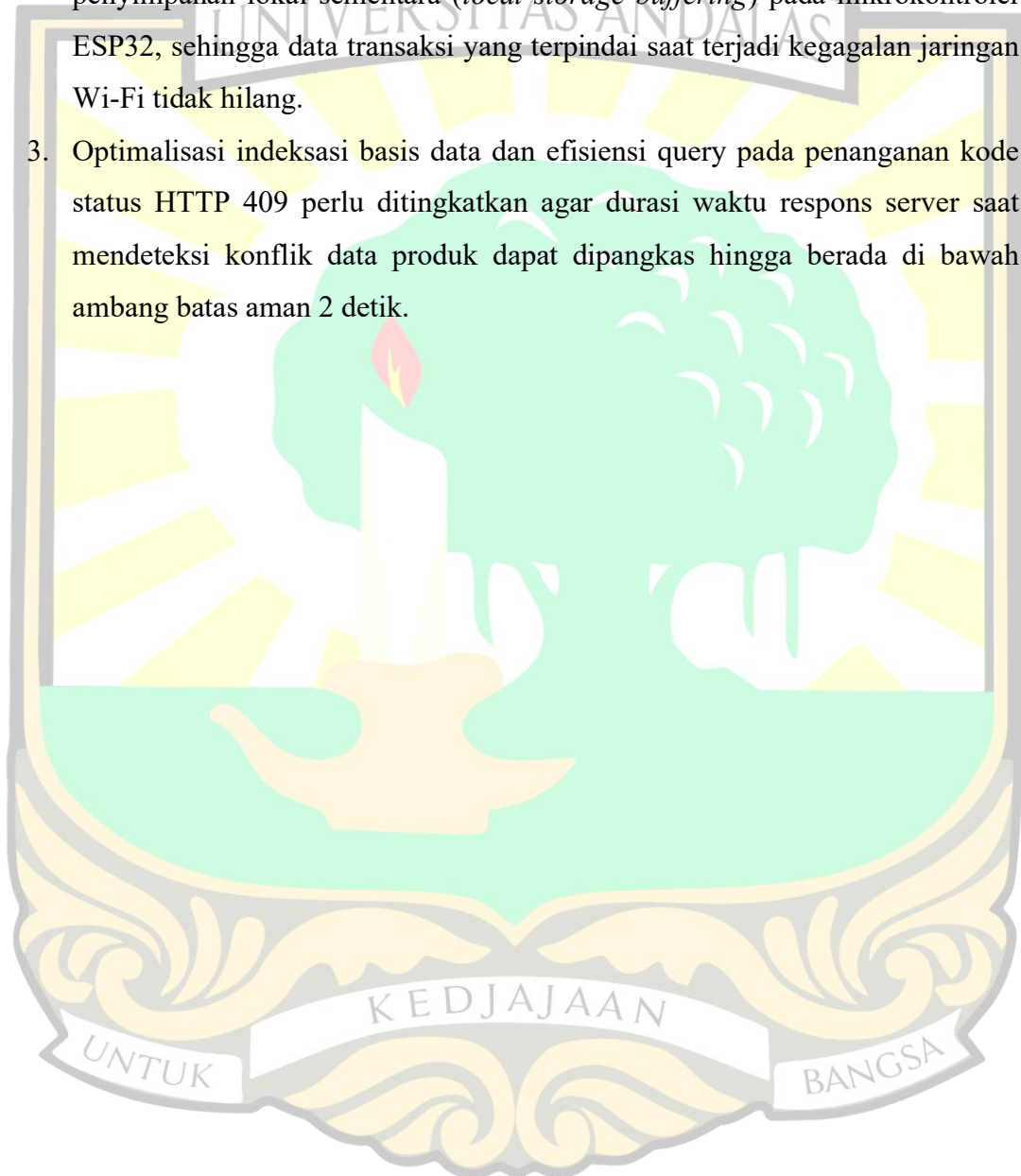
Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian menyeluruh yang telah dilakukan terhadap sistem manajemen inventaris gudang toko kelontong smartklon, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Kemampuan jarak baca UHF RFID Reader mencatatkan rata-rata akurasi kumulatif sebesar 97,5% pada rentang 1 hingga 8 meter, sehingga dinyatakan melampaui target spesifikasi teknis minimal yaitu sebesar $\geq 95\%$.
2. Ketahanan sistem dalam mengelola lalu lintas data terbukti andal setelah sukses memproses total 102 transaksi otomatis dalam satu hari tanpa adanya data hilang atau ganda, memenuhi kriteria beban minimal sebesar 100 transaksi per hari.
3. Kecepatan pengiriman data dari mikrokontroler menuju basis data server melalui protokol WebSocket lokal menghasilkan nilai rata-rata waktu respons sebesar 1,92 detik, jauh di bawah batas maksimal toleransi sistem yaitu ≤ 10 detik.
4. Antarmuka halaman website smartklon terbukti memiliki tingkat sinkronisasi mutlak sebesar 100% terhadap basis data karena mampu memperbarui seluruh tabel dan grafik secara real-time otomatis tanpa perlu penyegaran halaman.
5. Sub-sistem umpan balik pada perangkat keras berhasil memberikan notifikasi buzzer dan LCD I2C yang sinkron sesuai kode status respons HTTP dari server, dengan rata-rata durasi kecepatan respons konstan pada rentang 1,2 hingga 2,2 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi terhadap keterbatasan smartklon, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan sistem selanjutnya sebagai berikut:

1. Implementasi algoritma pemfilteran tingkat lanjut pada sisi server backend perlu ditambahkan guna menangani fluktuasi sinyal UHF RFID secara lebih optimal, terutama ketika jangkauan pembacaan dipaksa beroperasi pada batas maksimal jarak 8 meter di area gudang yang padat.
2. Pengembangan sistem ke depan sebaiknya mengintegrasikan mekanisme penyimpanan lokal sementara (*local storage buffering*) pada mikrokontroler ESP32, sehingga data transaksi yang terpindai saat terjadi kegagalan jaringan Wi-Fi tidak hilang.
3. Optimalisasi indeksasi basis data dan efisiensi query pada penanganan kode status HTTP 409 perlu ditingkatkan agar durasi waktu respons server saat mendeteksi konflik data produk dapat dipangkas hingga berada di bawah ambang batas aman 2 detik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Angellin, R. Oetama, dan M. Amri, "Web-Based Inventory and Sales Information System: Indonesian Micro Small Medium Enterprise Case Study," JOINS (Journal of Information System), vol. 8, no. 1, pp. 57–66, May 2023
- [2] R. A. Siregar, "Kasir Alfamart di Rohil Dilabrak Seorang Ibu usai Jual Produk Kedaluwarsa," detikSumut. Diakses: 7 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.detik.com/sumut/berita/d-7133668/kasir-alfamart-di-rohil-dilabrak-seorang-ibu-usai-jual-produk-kedaluwarsa/>
- [3] M. F. Ibrahim, Y. S. Mardhiyyah, A. Rusdiansyah, M. K. Boer, dan D. M. Utama, "A Three-Phased Perishable Inventory Simulation Model with Quality Decrease Consideration," Jurnal Ilmiah Teknik Industri, vol. 19, no. 2, 2021
- [4] [T. D. Kusuma, A. N. Wahid, T. Darmawan, and E. Susena. "Sistem inventaris web untuk efisiensi stok barang pada Toko Terang Abadi," Saturnus: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi, vol. 3, no. 3, pp. 61–74, Jul. 2025, doi: 10.61132/saturnus.v3i3.922.
- [5] V. Malau, "Perancangan sistem informasi persediaan barang berbasis web untuk efisiensi manajemen stok di Toko Grace Service," Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran, vol. 8, no. 3, pp. 7834–7844, Sep. 2025. [Online]. Available: <http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
- [6] Y. I. Syuhardi and A. Prastomo, "Pengembangan sistem inventaris barang pada PT Alpha Romeo Teknologi guna mewujudkan efisiensi operasional melalui inovasi," Journal of Information System, Informatics and Computing, vol. 8, no. 2, pp. 296–305, Dec. 2024. [Online]. Available: <http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/jisicom> [Accessed: 6-Jan-2026].
- [7] Food and Agriculture Organization, *Food loss and waste in the retail sector*, FAO, 2021. <https://www.fao.org/food-loss-and-food-waste>
- [8] GS1, *GS1 General Specifications*, Release terbaru, GS1 AISBL. <https://ref.gs1.org/standards/genspecs/>
- [9] GS1, *Barcode Basics and Data Carriers*. <https://www.gs1.org/standards/barcodes>
- [10] A. C. Seker dan S. C. Ahn, "A generalized framework for recognition of expiration dates on product packages using fully convolutional

networks,” *Expert Syst Appl*, vol. 203, hlm. 117310, Okt 2022, doi: 10.1016/J.ESWA.2022.117310.

[11] Engineering ToolBox, *Recommended Light Levels (Lux) for Indoor Areas*. https://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html

[12] CIE, *Lighting of Indoor Work Places – Guidance*. <https://cie.co.at/publications>

[13] Scandit, *Common Barcode Scanning Challenges in Retail*. <https://www.scandit.com/resources/guides/barcode-scanning-challenges/>

[14] Zebra Technologies, *Improving Barcode Read Rates in Retail Environments*. <https://www.zebra.com>

[15] J. I. P. P. A. Jaka, K. Kuswiyanto, M. F. Abdillah, N. Hidayat, and Y. Prastyo, “Literature review: Comparative analysis of FIFO and FEFO management methods,” *Everant Technology Journal*, vol. 10, no. 6, 2025, doi: 10.47191/etj.v10i06.16.

[16] S. Tripathy, “Detection of phantom inventories at retail stores using a Bayesian approach,” Master’s thesis, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/337473205>

[17] L. Chen, “Fixing phantom stockouts: Optimal data-driven shelf inspection policies,” *Production and Operations Management*, vol. 30, no. 3, pp. 805–823, 2021, doi: 10.1111/poms.13310.

[18] S. Liu and J. C. White, “Addressing retail out-of-stock issues using system dynamics,” in *Proc. International Conference of the System Dynamics Society*, 2011. [Online]. Available: <https://proceedings.systemdynamics.org/2011/proceed/papers/P1109.pdf> [Accessed: 6-Jan-2026].

[19] M. L. A. T. M. Hertog, I. Uysal, U. McCarthy, B. M. Verlinden, and B. M. Nicolaï, “Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 372, no. 2017, 2014, doi: 10.1098/rsta.2013.0306.

[20] Rekik, R. Oliva, C. Glock, and A. Syntetos, “Inventory record inaccuracy in grocery retailing: Impact of promotions and product perishability,

and targeted effect of audits,” arXiv preprint arXiv:2506.05357, 2025, doi: 10.48550/arXiv.2506.05357.

[21] ECR Europe and GS1, “Retail loss and shrinkage,” 2020. [Online]. Available: <https://www.gs1.org/standards/traceability> R. Ramanathan, “Inventory record inaccuracy and its impact on service levels,” *International Journal of Production Economics*, vol. 136, no. 1, pp. 1–10, 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2011.12.001.

[22] S. Tripathy, “Detection of phantom inventories at retail stores using a Bayesian approach,” Master’s thesis, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/337473205> A. M. Chalik, B. A. Qowy, F. Hanafi, and A. Nuraminah, “Mouse tracking tangan dengan klasifikasi gestur menggunakan OpenCV dan Mediapipe,” *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi (JUITIK)*, vol. 1, no. 2, pp. 10-18, Jul. 2021.

[23] P. Grewal, A. Roggeveen, and J. Nordfält, “The future of retailing,” *Journal of Retailing*, vol. 93, no. 1, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1016/j.jretai.2016.12.008.

[24] Y. Rekik, R. Oliva, C. Glock, and A. Syntetos, “Inventory record inaccuracy in grocery retailing: Impact of promotions and product perishability,” arXiv preprint arXiv:2506.05357, 2025, doi: 10.48550/arXiv.2506.05357.

[25] G. DeHoratius and A. Raman, “Inventory record inaccuracy: An empirical analysis,” *Management Science*, vol. 54, no. 4, pp. 627–641, 2008, doi: 10.1287/mnsc.1070.0789.

[26] Irfan, M. A. Muthalib, Kartika, and S. Meliala, “Pengiraan pose model manusia pada repetisi kebugaran AI pemograman Python berbasis komputerisasi,” *INFOTECH Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 11-19, 2023.

[27] L. A. Pranoto and N. H. Hakim, “Analisis tingkat akurasi inventaris pada retail modern di Indonesia,” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 23, no. 1, pp. 45–52, 2021.

[28] A. S. Nugroho and R. Hartono, “Penerapan prinsip First Expired First Out (FEFO) pada pengelolaan stok makanan di UMKM,” *Jurnal Manajemen Teknologi*, vol. 20, no. 2, pp. 85–93, 2022.

- [29] R. Aryanti and M. A. Setiawan, "Tinjauan pengaruh pemborosan makanan terhadap lingkungan di kota besar Indonesia," *Jurnal Lingkungan Indonesia*, vol. 10, no. 3, pp. 150–159, 2020.
- [30] D. Wahyuni, "Analisis food loss dan food waste pada sektor ritel kecil di Jakarta," *Jurnal Teknologi Pengelolaan Pangan*, vol. 11, no. 1, pp. 23–31, 2021.
- [31] I. P. Sari and S. Mulyani, "Pengaruh kualitas layanan dan etika penjualan makanan terhadap loyalitas konsumen di minimarket urban," *Jurnal Manajemen Bisnis Indonesia*, vol. 8, no. 4, pp. 150–158, 2022.
- [32] S. Amin and R. Nurhayati, "Etika bisnis dalam pengelolaan produk kedaluwarsa pada toko retail di Bandung," *Jurnal Etika dan Kebijakan Publik*, vol. 7, no. 2, pp. 73–82, 2021.
- [33] M. Fauzi and T. A. Prasetyo, "Analisis risiko kesehatan karena konsumsi makanan kedaluwarsa di pasar tradisional," *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, vol. 12, no. 1, pp. 112–120, 2021.
- [34] E. F. Putri and R. Malik, "Hubungan status tanggal kedaluwarsa dengan kejadian keracunan makanan di wilayah Yogyakarta," *Jurnal Ilmu Gizi Indonesia*, vol. 15, no. 2, pp. 99–106, 2023.
- [35] T. Wijaya and A. K. Putra, "Evaluasi kesiapan teknologi informasi pada UMKM ritel modern di Jawa Tengah," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 17, no. 1, pp. 29–38, 2022.
- [36] D. Kurniawan and H. Lestari, "Resistensi pegawai terhadap implementasi sistem informasi inventaris di perusahaan ritel menengah," *Jurnal Administrasi Bisnis*, vol. 9, no. 3, pp. 45–53, 2020.
- [37] A. R. Pratama and S. Wibowo, "Analisis risiko keamanan informasi pada sistem manajemen ritel digital," *Jurnal Teknologi Informasi dan Keamanan*, vol. 8, no. 1, pp. 50–58, 2023.
- [38] F. A. Nugraha and R. Yulianto, "Tingkat literasi digital karyawan pada UMKM di era transformasi digital," *Jurnal Pendidikan Teknologi*, vol. 14, no. 2, pp. 77–85, 2022.

- [39] Y. Prasetyo and M. P. Hasan, "Model solusi teknologi hemat biaya untuk UMKM ritel kecil di Indonesia," *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Digital*, vol. 5, no. 1, pp. 25–33, 2024.
- [40] R. Hidayat and S. N. Nugroho, "Perencanaan dan estimasi durasi proyek pengembangan sistem informasi pada UMKM," *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 110–119, 2023.
- [41] A. C. Seker and S. C. Ahn, "A generalized framework for recognition of expiration dates on product packages using fully convolutional networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 203, p. 117310, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117310.
- [42] Scandit, "Common barcode scanning challenges in retail," 2022. [Online]. Available: <https://www.scandit.com/resources/guides/barcode-scanning-challenges/>
- [43] ISO/IEC, "ISO/IEC 27001: Information security management systems — Requirements," 2013.
- [44] ISO/IEC, "ISO/IEC 20000-1: Information technology — Service management — Requirements," 2018.
- [45] ISO, "ISO 45001:2018 — Occupational health and safety management systems — Requirements," 2018.
- [46] G. DeHoratius and A. Raman, "Inventory record inaccuracy: An empirical analysis," *Management Science*, vol. 54, no. 4, pp. 627–641, 2008, doi: 10.1287/mnsc.1070.0789.
- [47] ISO/IEC, "ISO/IEC 23894: Information technology — Risk management — Guidelines," 2023.
- [48] ISO/IEC, "ISO/IEC 27035: Information security incident management," 2016.
- [49] Republik Indonesia, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik, 2008.
- [50] ISO/IEC, "ISO/IEC 27002:2022 — Information security controls," 2022.
- [51] NIST, "Special Publication 800-92: Guide to computer security log management," 2006.

- [52] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik*, 2019.
- [53] ISO/IEC, “ISO/IEC 30141: Internet of Things (IoT) — Reference architecture,” 2018.
- [54] ETSI, “ETSI EN 303 645: Cyber security for consumer Internet of Things,” 2020.
- [55] ISO, “ISO 9241-210: Human-centred design for interactive systems,” 2019.
- [56] OWASP Foundation, “OWASP Application Security Verification Standard (ASVS),” 2023. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-application-security-verification-standard/>
- [57] ISO/IEC, “ISO/IEC 27035: Information security incident management,” 2016.
- [58] ISO, “ISO 50001:2018 — Energy management systems — Requirements,” 2018.
- [59] IEC, “IEC 62301: Household electrical appliances — Measurement of standby power,” 2011.
- [60] J. Nielsen, *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 1994.
- [61] ISO, “ISO 9241-210: Human-centred design for interactive systems,” 2019.
- [62] ISO, “ISO 9001:2015 — Quality management systems — Requirements,” 2015.
- [63] Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi*, 2022.
- [64] ISO/IEC, “ISO/IEC 27001: Information security management systems — Requirements,” 2013.
- [65] O. D. Lara and M. A. Labrador, “A survey on human activity recognition using wearable sensors,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 3, pp. 1192–1209, 2013, doi: 10.1109/SURV.2012.110112.00192.

- [66] V. Bazarevsky et al., “MediaPipe Hands: On-device real-time hand tracking,” arXiv preprint arXiv:2006.10214, 2020.
- [67] Bazarevsky et al., “MediaPipe: A framework for building perception pipelines,” arXiv preprint arXiv:1906.08172, 2019.
- [68] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.
- [69] C. Zheng, W. Wu, C. Chen, et al., “Deep Learning-Based Human Pose Estimation: A Survey,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 45, no. 2, pp. 1–20, 2023.
- [70] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2010.
- [71] DeHoratius and A. Raman, “Inventory record inaccuracy: An empirical analysis,” *Management Science*, vol. 54, no. 4, pp. 627–641, 2008, doi: 10.1287/mnsc.1070.0789.
- [72] A. Nugroho dan R. Hidayat, “Perancangan dan implementasi sistem pengukuran berat menggunakan sensor load cell berbasis strain gauge,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 85–92, 2020.
- [73] D. Prasetyo dan M. S. Anwar, “Aplikasi sensor load cell dengan rangkaian jembatan Wheatstone pada sistem penimbangan digital,” *Jurnal Instrumentasi*, vol. 5, no. 1, pp. 12–19, 2019.
- [74] R. H. Saputra, A. Setiawan, dan L. Hakim, “Analisis ketidaksesuaian data persediaan pada sistem inventori ritel,” *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 14, no. 3, pp. 201–209, 2021.
- [75] T. Almabruk, M. Gerbade, and K. Mohammed, “Integrating YOLO-v5 and Pyzbar for accurate and efficient barcode recognition system,” *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, vol. 26, no. 3, ser. 4, pp. 22–26, May–Jun. 2024.
- [76] M.-S. Kim, M.-K. Moon, and C.-H. Han, “Expiration date notification system based on YOLO and OCR algorithms for visually impaired person,” in Korean, n.d.

- [77] R. A. Pratama, A. Nugroho, dan D. Kurniawan, "Implementasi teknologi RFID pada sistem inventaris barang berbasis web," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 9, no. 2, pp. 345–352, 2022.
- [78] M. F. Ramadhan dan I. Setiawan, "Perancangan sistem monitoring persediaan barang menggunakan RFID," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 6, no. 1, pp. 88–95, 2022.
- [79] A. Khamdi, M. R. Fauzi, dan R. Firmansyah, "Rancang bangun sistem monitoring persediaan barang berbasis IoT menggunakan sensor load cell," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 8, no. 1, pp. 45–52, 2024.
- [80] D. Hartanto, A. Prasetyo, dan L. Nugraha, "Implementasi sistem monitoring stok berbasis Internet of Things pada toko ritel kecil," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 11, no. 2, pp. 189–197, 2024.
- [81] R. S. Putra dan I. Setiawan, "Sistem pemantauan persediaan barang menggunakan sensor load cell dan mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 9, no. 3, pp. 233–240, 2021.
- [82] Z. J. H. Tarigan, "Integrasi Teknologi RFID dengan Teknologi ERP untuk Otomatisasi Data (Studi Kasus Pada Gudang Barang Jadi Perusahaan Furniture)," *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 134–141, Dec. 2004, doi: 10.9744/jti.6.2.134-141.
- [83] R. Yusianto, "Implementasi Teknologi RFID dalam Perencanaan dan Pengendalian Persediaan Sistem Distribusi Barang," *Techno Science*, vol. 4, no. 2, pp. 554–560, Oct. 2010.
- [84] M. K. Fil Ardi, M. A. Rosid, and Y. Rahmawati, "Integrasi Teknologi RFID untuk Pengembangan Sistem Inventaris Barang," *JOISIE (Journal of Information Systems and Informatics Engineering)*, vol. 8, no. 2, pp. 344–355, Jan. 2025, doi: 10.35145/joisie.v8i2.4773.
- [85] W. William and Y. S. Soekanto, "Rancang Bangun Sistem Manajemen Persediaan Menggunakan RFID yang Terintegrasi Dengan Point of Sale Pada Retail Aneka Diesel Sinjai," *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 2, pp. 73–89, Dec. 2023, doi: 10.37715/juisi.v9i2.4406.

- [86] A. Tonioni, E. Serra, and L. Di Stefano, "A deep learning pipeline for product recognition on store shelves," arXiv preprint arXiv:1810.01733, 2019, doi: 10.48550/arXiv.1810.01733.
- [87] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018.
- [88] T. A. Yamani, A. Rofiqi, M. I. Fauzan, S. Sumanto, dan G. Taufiq, "Analisis pendeteksian dan klasifikasi produk di lingkungan supermarket menggunakan dataset Roboflow," *Jurnal Pustaka Data*, vol. 5, no. 2, 2025, doi: 10.55382/
- [89] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [90] A. Pratama, E. D. Marindani, and R. A. Nugroho, "Sistem inventaris barang berbasis Near Field Communication (NFC) pada perangkat Android," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 6, pp. 1103–1110, Dec. 2021, doi: 10.29207/resti.v5i6.3654.
- [91] N. Rashvand, G. A. Noghre, A. D. Pazho, B. R. Ardabili, and H. Tabkhi, "Shopformer: Transformer-Based Framework for Detecting Shoplifting via Human Pose," *arXiv*, Apr. 2025.
- [92] V. V. Krishna and T. Malathi, "Human Activity Recognition Using Pose Estimation, Deep Learning, and Contextual Scene Analysis," *Int. J. Res. Public. Rev.*, vol. 6, no. 8, 2025.
- [93] L. Zhou, X. Meng, Z. Liu, M. Wu, Z. Gao, and P. Wang, "Human Pose-based Estimation, Tracking and Action Recognition with Deep Learning: A Survey," *arXiv*, 2023.
- [94] Tokopedia, "Camera Module 5MP 1080P Raspberry Pi OV5647 (Pi 0 / 3 / 4 / 5)," Tokopedia, 2026.[Online]. Tersedia: <https://www.tokopedia.com/khurs-iot/camera-module-5mp-1080p-raspberry-pi-ov5647>
- [95] Shopee, "Xiaovv Webcam Full HD 1080p Camera USB XVV FullHD Web Cam," Shopee, 2026. [Online]. Tersedia: <https://shopee.co.id/Xiaovv-Webcam-Full-HD-1080p-Camera-USB-XVV->

- [96] Raspberry Pi NoIR Camera v2 Datasheet, Raspberry Pi / Farnell, 2025
- [97] S. Kumar *et al.*, “Performance Evaluation of Low-Cost CameraSensors for Computer Vision Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 112345–112356, 2021.
- [98] Raspberry Pi Foundation, “Raspberry Pi NoIR Camera Module V2,” Documentation, 2022.
- [99] S. Zhang *et al.*, “Vision-Based Abnormal Behavior Detection in Retail Environments: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 9, 2021.
- [100] M. Sultani, C. Chen, and M. Shah, “Real-World Anomaly Detection in Surveillance Videos,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 42, no. 10, 2021.
- [101] Raspberry Pi 5 Product Brief, Raspberry Pi Foundation, 2024.
- [102] Jetson Nano Developer Kit Data Sheet, NVIDIA, 2022.
- [103] Arduino Portenta H7 Collective Datasheet, Arduino, 2025.
- [104] NVIDIA, “Jetson Nano Developer Kit,” NVIDIA Documentation, 2021.
- [105] S. Teerapittayanon, B. McDanel, and H. T. Kung, “Distributed Deep Neural Networks Over the Cloud, the Edge and End Devices,” *IEEE ICDCS*, 2021
- [106] Arduino, “Portenta H7 Technical Reference,” Arduino Documentation, 2022.
- [107] M. B. Abdullah *et al.*, “Limitations of Microcontroller-Based Platforms for Vision-Based AI Applications,” *Sensors*, vol. 22, no. 14, 2022.
- [108] Raspberry Pi Foundation, “Raspberry Pi 5 Product Brief,” 2024.
- [109] S. Kumar *et al.*, “Performance Evaluation of Single-Board Computers for Computer Vision Applications,” *IEEE Access*, vol. 11, 2023.
- [110] W. Shi *et al.*, “Edge Computing: Vision and Challenges,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2021.

- [111] S. Teerapittayanon, B. McDanel, and H. T. Kung, "Distributed Deep Neural Networks Over the Cloud, the Edge and End Devices," *IEEE ICDCS*, 2021.
- [112] G. Jocher et al., "YOLOv8 Documentation," Ultralytics, 2023
- [113] D. K. Alqahtani et al., "Benchmarking deep learning models for object detection on edge computing devices," arXiv:2409.16808, 2024.
- [114] W. Liu et al., "SSD: Single Shot MultiBox Detector," in Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV), 2016, pp. 21–37.
- [115] Z. Zou et al., "Object Detection in 20 Years: A Survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 3, pp. 435–471, 2021.
- [116] A. Sahayaraj and B. G., "Faster region based convolution neural network with context iterative refinement for object detection," *Measurement: Sensors*, vol. 24, art. no. 101025, 2024
- [117] J. Juhartini, D. Arwidiyarti, and D. Desmiwati, "Single Shot Multibox Detector (SSD) in Object Detection: A Review," *Int. J. Adv. Comput. Informatics*, vol. 1, no. 2, pp. 118–127, Jul. 2025, doi:10.71129/ijaci.v1i2.pp118-127.
- [118] Y. Wang, Z. Liu, and H. Zhang, "Improved YOLOv8-Based Object Detection Method for Real-Time Applications," *Sensors*, vol. 23, no. 18, art. no. 7825, 2023, doi:10.3390/s23187825.
- [119] Hailo Technologies Ltd., "Hailo-8L Edge AI Processor: Architecture and Performance," *Hailo White Paper*, 2023. Available: <https://hailo.ai>
- [120] M. Sultani, C. Chen, and M. Shah, "Real-World Anomaly Detection in Surveillance Videos," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 42, no. 10, pp. 2533–2547, 2021
- [121] Qlight Co., "QLS-200 Series Alarm Siren Datasheet," 220V AC Industrial Siren, 2020.
- [122] LTE Lighting, "LTE-1101 LED Strobe Warning Light Datasheet," 12–24V DC Industrial Signal Lamp, 2021.
- [123] CUI Devices, "Piezoelectric Buzzer Datasheet," 12V DC Active Buzzer, 2022.

- [124] T. Hwang, I.-H. Youn, S. Lee, dan I. Kim, "Efficiency Comparison between Audible and Buzzle Alarms of Electronic Chart Display and Information System Alarm under the Simulated Environment," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 2, art. 154, 2022
- [125] A. S. Bliss, R. Gilson, dan J. Deaton, "Human probability matching behaviour in response to alarms of varying reliability," *Ergonomics*, vol. 38, no. 11, pp. 2300–2312, 2021
- [126] A. G. Lee et al., "Auditory and visual alarm designs impact clinicians' perceived cognitive workload," *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, vol. 39, no. 6, pp. 1247–1255, 2025
- [127] Telegram, "Telegram Bot API Documentation," Telegram Messenger LLP, 2023.
- [128] Pallets Project, "Flask Documentation," 2023. [Online]. Available: <https://flask.palletsprojects.com/>
- [129] Google, "Flutter Documentation," 2023. [Online]. Available: <https://docs.flutter.dev/>
- [130] Google, "Firebase Cloud Messaging Documentation," Google Developers, 2023. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging>
- [131] A. A. Alahmadi and M. F. Zhani, "Design and Implementation of Telegram Bot-Based Notification Systems for IoT Applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 154532–154543, 2021
- [132] R. Gupta, S. Tyagi, and N. Kumar, "Lightweight MQTT-Based Communication for Real-Time IoT Applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 3124–3135, 2023
- [133] S. Sharma and P. Kaur, "Performance Evaluation of Firebase Cloud Messaging for Mobile Push Notification Systems," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 98765–98775, 2024
- [134] Y. Zhang et al., "Event logging and traceability in intelligent video surveillance systems," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 86521–86534, 2023

- [135] M. Chen et al., “Design of Image Logging and Metadata Management for Real-Time Surveillance Systems,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 134112–134123, 2021.
- [136] MongoDB Inc., *MongoDB Manual – GridFS and BSON Data Model*, 2023. [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/docs/>
- [137] PostgreSQL Global Development Group, *PostgreSQL 15 Documentation – Large Objects and BYTEA*, 2022. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/>
- [138] A. Silberschatz, H. F. Korth, and S. Sudarshan, *Database System Concepts*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2020
- [139] A. Nayak, A. Poriya, and D. Poojary, “Type of NoSQL Databases and its Comparison with Relational Databases,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Advances in Computing, Communication and Control*, 2021
- [140] P. Atzeni and S. Ceri, *Relational Database Theory*, Springer, 2022
- [141] C. Ni, J. Wu, and H. Wang, “Energy-Aware Edge Computing Optimization for Real-Time Anomaly Detection in IoT Networks,” *Applied and Computational Engineering*, vol. 139, pp. 42–53, 2025
- [142] Panasonic Corporation, *Lithium Ion Battery NCR18650 Series Datasheet*, 2021.
- [143] Mean Well Enterprises, *GST60A Series AC/DC Adapter Datasheet*, 2022.
- [144] Xiamen RichPower, *Mini DC UPS 12V Product Specification*, 2022
- [145] Anker Innovations, *PowerCore Series Technical Specifications*, 2023
- [146] J. M. Guerrero et al., “Power Electronics and Protection Techniques for Embedded Systems,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 174412–174425, 2020.
- [147] S. Singh and A. Kumar, “Design of DC UPS Systems for Embedded and IoT Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 112301–112312, 2021.

- [148] R. Ravanelli et al. "A high-resolution photogrammetric workflow based on focus stacking for the 3D modeling of small Aegean inscriptions." *Journal of Cultural Heritage* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.009>.
- [149] <https://www.logitech.com/content/dam/logitech/en/support/qsg/education-center/logitech-c270-for-education-one-pager.pdf>
- [150] <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>
- [151] V. Arlazarov et al. "Generative approach for 1D barcode dataset population for mobile-based recognition." , 11605 (2021): 116051P - 116051P-7. <https://doi.org/10.1117/12.2587628>.
- [152] Xia Zhu et al. "Design of Barcode Recognition System Based on YOLOV5." *Journal of Physics: Conference Series*, 1995 (2021). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1995/1/012052>.
- [153] Natural History Museum, *pyzbar: Read one-dimensional barcodes and QR codes using the zbar library*, ver. 0.1.9. PyPI, 2023. [Online]. Available: <https://pypi.org/project/pyzbar/>
- [154] ZXing Authors, *ZXing ("Zebra Crossing") Barcode Image Processing Library*, ver. 3.5.3. GitHub Repository, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/zxing/zxing>
- [155] OpenCV Team, "Barcode Recognition," in *OpenCV 4.x Documentation*, 2024. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d25/tutorial_barcode_detect_and_decode.html
- [156] Traian Rebedea et al. "Expiry date recognition using deep neural networks." *International Journal of User-System Interaction* (2020). <https://doi.org/10.37789/ijusi.2020.13.1.1>.
- [157] Rongjun Chen et al. "An optimized lightweight real-time detection network model for IoT embedded devices." *Scientific Reports*, 15 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88439-w>.
- [158] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," in *Advances in*

Neural Information Processing Systems (NIPS), vol. 28, 2015, pp. 91-99.
[Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1506.01497>

[159] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018, pp. 4510-4520. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1801.04381>

[160] Jocher, G., Chaurasia, A., & Stoken, A., *Ultralytics YOLOv8*, ver. 8.0.0. GitHub, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

[161] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, vol. 28, 2015, pp. 91-99. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1506.01497>

[162] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018, pp. 4510-4520. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1801.04381>

[163] Ultralytics, *Ultralytics YOLOv8 Docs: Real-time Object Detection*, ver. 8.0. GitHub, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

[164] Roger Creus Castanyer et al. "Which design decisions in AI-enabled mobile applications contribute to greener AI?." *Empirical Software Engineering*, 29 (2021): 1-34. <https://doi.org/10.1007/s10664-023-10407-7>

[165] Raspberry Pi Ltd, *Raspberry Pi 4 Model B Product Brief*, May 2020. [Online]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>

[166] NVIDIA Corporation, *NVIDIA Jetson Nano Module Data Sheet*, ver. 1.2, 2020. [Online]. Available: https://developer.download.nvidia.com/assets/embedded/secure/jetson/Nano/docs/Jetson_Nano_Module_Data_Sheet_DS09366001v1.2.pdf

- [167] Waveshare Electronics, *3.5inch RPi LCD (A): 320x480, Touch Screen TFT LCD*, 2024. [Online]. Available: [https://www.waveshare.com/wiki/3.5inch_RPi_LCD_\(A\)](https://www.waveshare.com/wiki/3.5inch_RPi_LCD_(A))
- [168] Vishay Intertechnology, *LCD-020N004L: 20 x 4 Character LCD Display Module Datasheet*. [Online]. Available: <https://www.vishay.com/docs/37314/lcd020n004l.pdf>.
- [169] Ayatulloh, Fikri, *Analisa dan Pengujian UHF RFID Reader pada Kendaraan Bergerak*, Undergraduate thesis, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Sep. 2022. [Online]. Available: https://repository.unissula.ac.id/27272/2/Teknik%20Elektro_30601501680_full.pdf.pdf
- [170] *Penerapan Sistem Presensi Berbasis UHF RFID*, Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah, Makassar, [s.d.]. [Online]. Available: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/45701-Full_Text.pdf
- [171] Electron Indonesia, “HW-VX6330K UHF RFID Reader,” Electron.id. [Online]. Available: <https://electron.id/produk/hw-vx6330k/>.
- [172] JadaK Tech, “ThingMagic M6E UHF RAIN RFID Module,” JadaKTech.com. [Online]. Available: <https://www.jadaktech.com/product/thingmagic-m6e-uhf-rain-rfid/>.
- [173] Atlas RFID Store, “Impinj Speedway Revolution R420 UHF RFID Reader,” AtlasRFIDStore.com. [Online]. Available: <https://www.atlasrfidstore.com/impinj-speedway-revolution-r420-uhf-rfid-reader-4-port/>.
- [174] Electron Indonesia, “HW-VX6330K UHF RFID Reader,” Electron.id. [Online]. Available: <https://electron.id/produk/hw-vx6330k/>. [Accessed: 07-Jan-2026].
- [175] B. Bhattacharya, “Collision Detection in RFID Systems,” Rutgers University, Piscataway, NJ, USA, 2005. [Online]. Available: <https://people.cs.rutgers.edu/~badri/553dir/papers/MCPaperFinal-coldetect.pdf>.
- [176] Electron Indonesia Official Store, “EL-UHF-TLB1 Book Label RFID EPC Gen2,” Tokopedia. [Online]. Available:

<https://www.tokopedia.com/electron/el-uhf-tlb1-book-label-125x7mm-library-double-tape-rfid-tag-epc-gen2>.

[177] H. Aprinaldi, “Digitalisasi Sistem Pengelolaan Buku Menggunakan Ultra High Frequency RFID (Radio Frequency Identification) dan Fingerprint pada Perpustakaan,” Thesis, Andalas University, Padang, Indonesia, 2024. [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/id/eprint/474188>.

[178] Wikipedia, “ISO/IEC 18000-3,” Wikipedia.org. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_18000-3.

[179] KMTech, “ESP8266 vs ESP32: Apa Perbedaan Mereka,” KMTech.id. [Online]. Available: <https://www.kmtech.id/post/esp8266-vs-esp32-apa-perbedaan-mereka>.

[180] Wikipedia, “ESP32,” Wikipedia.org. [Online]. Available: <https://id.wikipedia.org/wiki/ESP32>.

[181] Wikipedia, “ESP8266,” Wikipedia.org. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.

[182] Arduino, “Arduino WiFi Shield,” Arduino Documentation. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/retired/shields/arduino-wifi-shield/>.

[183] Microsoft Corporation, “Arduino IDE,” Microsoft Store. [Online]. Available: <https://apps.microsoft.com/detail/9nblggh4rsd8>.

[184] KMTech, “Mengenal Perangkat Lunak Arduino IDE,” KMTech.id. [Online]. Available: <https://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide>.

[185] Texas Instruments, “MAX3232: RS-232 Transceiver Datasheet,” TI.com. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/max3232.pdf>.

[186] Wikipedia, “MAX232,” Wikipedia.org. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/MAX232>.

[187] MaxLinear, “SP3232E RS-232 Transceiver,” MaxLinear.com. [Online]. Available: <https://www.maxlinear.com/product/interface/serial-transceivers/rs-232/sp3232e>.

[188] Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer, “Artikel Sistem Berbasis RFID,” Universitas Mohammad Husni Thamrin. [Online]. Available: <https://journal.thamrin.ac.id/index.php/jtik/article/view/2253/2222>.

- [189] Jurnal Elektro, "Implementasi Sistem Elektronik," Universitas Kristen Petra. [Online]. Available: <https://jurnalelektro.petra.ac.id/index.php/elk/article/view/26879>.
- [190] Google LLC, "Firebase," Firebase.google.com. [Online]. Available: <https://firebase.google.com/>.
- [191] Alibaba Cloud, "Cloud Database Services," AlibabaCloud.com. [Online]. Available: <https://www.alibabacloud.com/en/product/databases>.
- [192] MathWorks, "ThingSpeak IoT Analytics Platform," ThingSpeak.mathworks.com. [Online]. Available: <https://thingspeak.mathworks.com/>.
- [193] Jurnal Aplikasi Ilmu-Ilmu Informatika dan Teknologi, "Artikel Sistem IoT," IT Telkom Surabaya. [Online]. Available: <https://journal.ittelkom-sby.ac.id/jaiit/article/view/632>.
- [194] ResearchGate, "Rancang Bangun Sistem Absensi Otomatis Berbasis RFID dan ESP32," ResearchGate.net. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/392150217>.
- [195] Circuit Digest, "Understanding the Difference Between Active and Passive Buzzer," CircuitDigest.com. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/understanding-difference-between-active-and-passive-buzzer-with-arduino>.
- [196] Global Sources, "Komponen Speaker," GlobalSources.com. [Online]. Available: <https://indonesia.globalsources.com/Speaker-Mentah/Komponen-speaker-1224777465p.htm>.
- [197] ErroFire, "Fire Mini Sirine," Errofire.co.id. [Online]. Available: <https://errofire.co.id/product/fire-mini-sirine/>.
- [198] Scribd, "ADC Output LCD 16x2," Scribd.com. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/682284105>.
- [199] A. Joseph, "Interface 16x2 LCD with Arduino Uno," Hackster.io. [Online]. Available: <https://www.hackster.io/akshayjoseph666/interface-16x2-lcd-parallel-interface-with-arduino-uno-2e87e2>.

[200] Digiware Store, “OLED/LCD Display 0.96 inch 128x64,” Digiwarestore.com. [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/id/oled/lcd-oled-display-096quot-128x64-i2c-spi-blue-yellow-722009.html>.

[201] Digiware Store, “LCD Character 16x2 1602 Blue Backlight SPI I2C Module,” Digiwarestore.com. [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/id/lcd-character/lcd-character-16x2-1602-blue-backlight-spi-i2c-module-712141.html>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Arduino IDE

```
#include <Wifi.h>
#include <HttpClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <HardwareSerial.h>

// -----
// KONFIGURASI JARINGAN & SERVER
// -----
const char* WIFI_SSID = "Redmi Note 14 Pro 5G";
const char* WIFI_PASSWORD = "hapeberkanih";
const char* SERVER_URL = "http://10.99.200.253:8000/api/rfid/scan";

// -----
// KONFIGURASI HARDWARE
// -----
#define RFID_RX_PIN 16
#define RFID_TX_PIN 17
#define RFID_BAUDRATE 57600
#define BUZZER_PIN 15
#define LCD_ADDR 0x27
#define LCD_COLS 16
#define LCD_ROWS 2

// -----
// KONSTANTA PEMBACAAN RFID
// -----
#define READ_TIMEOUT 100
#define MAX_RESPONSE 128
#define HEADER_LEN 4
#define CHECKSUM_LEN 2
#define STATUS_OK 0x00
#define CMD_EXPECTED 0xEE

// -----
// OBJEK GLOBAL
// -----
HardwareSerial readerSerial(2);
LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_ADDR, LCD_COLS, LCD_ROWS);
bool wifiConnected = false;
int scanCount = 0;

void printLine(char c = '-', int len = 50) {
    for (int i = 0; i < len; i++) Serial.print(c);
    Serial.println();
}

// -----
// FUNGSI PEMBACAAN BYTE PRESISI
// -----
bool readExact(HardwareSerial &s, uint8_t *buf, size_t len, unsigned long timeoutMs) {
    unsigned long start = millis();
    size_t i = 0;
    while (i < len) {
        if (s.available()) {
            buf[i++] = (uint8_t)s.read();
            start = millis();
        } else if (millis() - start > timeoutMs) {
            return false;
        }
    }
    return true;
}
```

```

    }
    return true;
}

// -----
// FUNGSI NOTIFIKASI AUDIO
// -----
void beepSuccess() {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

void beepError() {
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        delay(80);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        delay(80);
    }
}

void beepIdle() {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
    delay(60);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

// -----
// FUNGSI KONEKSI WIFI
// -----
void connectWifi() {
    printLine('=');
    Serial.print("[WiFi] Menghubungkan ke: ");
    Serial.println(WIFI_SSID);
    printLine();

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

    int attempts = 0;
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 30) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
        attempts++;
    }
    Serial.println();

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        wifiConnected = true;
        printLine();
        Serial.println("[WiFi] STATUS : TERHUBUNG ✓");
        Serial.print("[WiFi] IP ESP32 : ");
        Serial.println(WiFi.localIP().toString());
        Serial.print("[WiFi] Signal : ");
        Serial.print(WiFi.RSSI());
        Serial.println(" dBm");
        Serial.print("[WiFi] Server : ");
        Serial.println(SERVER_URL);
        printLine('=');

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("WiFi Terhubung!");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(WiFi.localIP().toString());
        delay(2000);
    }
}

```



```

    } else {
        printLine();
        Serial.println("[WiFi] STATUS : GAGAL TERHUBUNG x");
        Serial.println("[WiFi] Cek SSID dan Password!");
        printLine('=');

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("WiFi Gagal!");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Cek Konfigurasi");
        beepError();
    }
}

// -----
// FUNGSI PENGIRIMAN DATA KE SERVER
// -----
void processEpc(String epc) {
    scanCount++;

    Serial.println();
    printLine('=');
    Serial.print("[SCAN #");
    Serial.print(scanCount);
    Serial.print("] ");
    Serial.println(millis() / 1000.0, 2);
    printLine();
    Serial.print("[RFID] EPC : ");
    Serial.println(epc);
    Serial.print("[RFID] Panjang : ");
    Serial.print(epc.length());
    Serial.println(" karakter");

    // Tampilkan di LCD
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Mengirim...");
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (epc.length() > 16) {
        lcd.print(epc.substring(0, 13) + "...");
    } else {
        lcd.print(epc);
    }

    // Buat JSON payload
    StaticJsonDocument<128> doc;
    doc["epc"] = epc;
    String payload;
    serializeJson(doc, payload);

    printLine();
    Serial.print("[HTTP] Endpoint : ");
    Serial.println(SERVER_URL);
    Serial.print("[HTTP] Payload : ");
    Serial.println(payload);

    // Kirim HTTP POST
    HTTPClient http;
    http.begin(SERVER_URL);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    http.addHeader("Accept", "application/json");
    http.setTimeout(5000);

    unsigned long reqStart = millis();
    int httpCode = http.POST(payload);
    unsigned long reqDuration = millis() - reqStart;

```



```

unsigned long reqStart = millis();
int httpCode = http.POST(payload);
unsigned long reqDuration = millis() - reqStart;

println();
Serial.print("[HTTP] Status   : ");
Serial.println(httpCode);
Serial.print("[HTTP] Durasi    : ");
Serial.print(reqDuration);
Serial.println(" ms");

// -----
// Proses respons berdasarkan HTTP status code
//
// 200 = Transaksi berhasil (batch_in / single_in / out / check)
// 202 = Scanner IDLE - request diterima tapi tidak diproses
// 404 = Tag tidak dikenal (mode out: tag belum pernah didaftar)
// 409 = Tag konflik (terdaftar ke produk lain)
// 422 = Tag sudah berstatus out (tidak bisa diambil 2x)
// -1  = Timeout / tidak ada koneksi ke server
// -----
if (httpCode > 0) {
    String responseBody = http.getString();
    Serial.print("[HTTP] Response : ");
    Serial.println(responseBody);

    // Parse JSON response
    StaticJsonDocument<256> resp;
    DeserializationError parseErr = deserializeJson(resp, responseBody);

    String statusStr = !parseErr ? resp["status"].as<String>() : "";
    String msgStr = !parseErr ? resp["message"].as<String>() : "Response tidak valid";

    Serial.print("[JSON] status   : ");
    Serial.println(statusStr);
    Serial.print("[JSON] message  : ");
    Serial.println(msgStr);
    println();

    if (httpCode == 200) {
        Serial.println("[HASIL] ✅ SUKSES - Data tersimpan di database");

        String mode = !parseErr ? resp["mode"].as<String>() : "";
        String tagSt = !parseErr ? resp["tag_status"].as<String>() : "";
        if (mode.length() > 0) {
            Serial.print("[HASIL] Mode      : ");
            Serial.println(mode);
        }
        if (tagSt.length() > 0) {
            Serial.print("[HASIL] Tag        : ");
            Serial.println(tagSt);
        }

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("SUKSES! Tercatat");
        lcd.setCursor(0, 1);
        if (msgStr.length() > 16) msgStr = msgStr.substring(0, 16);
        lcd.print(msgStr);
        beepSuccess();
    } else if (httpCode == 202) {
        Serial.println("[HASIL] ⏸ IDLE - Scanner sedang idle, tidak ada yang tersimpan!");
        Serial.println("[HASIL] → Aktifkan mode di web: Batch Masuk / Tombol +1 Unit");

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Scanner IDLE!");
    }
}

```



```

beepSuccess();

} else if (httpCode == 202) {
    Serial.println("[HASIL] ■ IDLE - Scanner sedang idle, tidak ada yang tersimpan!");
    Serial.println("[HASIL] → Aktifkan mode di web: Batch Masuk / Tombol +1 Unit");

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Scanner IDLE!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Set Mode di Web");
    beepIdle();

} else if (httpCode == 404) {
    Serial.println("[HASIL] ✖ 404 - Tag tidak dikenal oleh sistem");
    Serial.println("[HASIL] → Daftarkan dulu via mode Batch Masuk / +1 Unit");

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Tag Asing!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Daftar dulu!");
    beepError();

} else if (httpCode == 409) {
    Serial.println("[HASIL] ▲ 409 - Tag sudah terdaftar ke produk LAIN");
    Serial.print("[HASIL] → ");
    Serial.println(msgStr);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Tag Produk Lain!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Cek di Web!");
    beepError();

} else if (httpCode == 422) {
    Serial.println("[HASIL] ▲ 422 - Tag sudah berstatus keluar sebelumnya");

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Sudah Keluar!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Scan lain!");
    beepError();

} else {
    Serial.print("[HASIL] × HTTP Error lain: ");
    Serial.println(httpCode);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Server Error!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Kode: " + String(httpCode));
    beepError();
}

} else {
    Serial.println("[HTTP] × KONEKSI GAGAL - Server tidak terjangkau!");
    Serial.println("[HTTP] Pastikan server menyala & IP benar");
    Serial.print("[HTTP] Error code: ");
    Serial.println(httpCode);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gagal Kirim!");
    lcd.setCursor(0, 1);

```



```

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Gagal Kirim!");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Server Mati?");
        beepError();
    }

    http.end();
    printLine('=');

    delay(2000);
    while (readerSerial.available()) readerSerial.read();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Sistem Siap...");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Menunggu Tag...");
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(300);

    printLine('=');
    Serial.println(" SmartKlon - Tag Scanner");
    Serial.println(" RFID → HTTP POST → Laravel API");
    printLine('=');

    readerSerial.begin(RFID_BAUDRATE, SERIAL_8N1, RFID_RX_PIN, RFID_TX_PIN);
    Serial.print("[HW] RFID Serial : RX=");
    Serial.print(RFID_RX_PIN);
    Serial.print(", TX=");
    Serial.print(RFID_TX_PIN);
    Serial.print(", Baud=");
    Serial.println(RFID_BAUDRATE);

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    Serial.print("[HW] Buzzer PIN : ");
    Serial.println(BUZZER_PIN);

    Wire.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SmartKlon v2.0");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Inisialisasi...");
    Serial.println("[HW] LCD : OK");

    connectWiFi();

    Serial.println("[SYS] Setup selesai. Menunggu tag RFID...");
    printLine('=');
}

void loop() {
    // Cek koneksi WiFi
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        if (wifiConnected) {
            wifiConnected = false;
            Serial.println("[WiFi] TERPUTUS - Mencoba reconnect...");
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("WiFi Terputus!");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Mencoba reconnect...");
        }
    }
}

```



```

        if (!connected) {
            Serial.println("[WiFi] TERPUTUS - Mencoba reconnect...");
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("WiFi Terputus!");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Reconnecting...");
            connectWifi();
        }
        return;
    }

    if (!readerSerial.available()) return;

    uint8_t resp[MAX_RESPONSE];
    size_t respLen = 0;

    if (!readExact(readerSerial, &resp[0], 1, READ_TIMEOUT)) return;

    const uint8_t dataLen = resp[0];
    respLen = 1 + dataLen;

    if (respLen > MAX_RESPONSE) {
        Serial.println("[RFID] Frame terlalu panjang, dibuang.");
        for (uint8_t j = 0; j < dataLen && readerSerial.available(); ++j) readerSerial.read();
        return;
    }

    if (!readExact(readerSerial, &resp[1], dataLen, READ_TIMEOUT)) {
        Serial.println("[RFID] Timeout baca byte lanjutan.");
        return;
    }

    if (respLen < (HEADER_LEN + CHECKSUM_LEN)) return;

    const uint8_t command = resp[2];
    const uint8_t status = resp[3];

    if (status != STATUS_OK || command != CMD_EXPECTED) {
        return;
    }

    const int payloadLen = respLen - HEADER_LEN - CHECKSUM_LEN;
    if (payloadLen <= 0) return;

    const uint8_t *tag = &resp[HEADER_LEN];
    String tagID = "";
    for (int i = 0; i < payloadLen; i++) {
        if (tag[i] < 16) tagID += "0";
        tagID += String(tag[i], HEX);
    }
    tagID.toUpperCase();

    processEpc(tagID);
}

```



Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dela Weranda

NIM : 2211511010

Departemen : Teknik Komputer

Menyatakan bahwa telah melakukan pemeriksaan *similarity* dengan Turnitin dengan *similarity index* $\leq 30\%$. Hal ini dapat dilihat pada lampiran yang saya sertakan bersama dengan surat ini. Demikian surat pernyataan ini saya buat agar digunakan sebaik-baiknya.

Padang, 20 Agustus 2026

Yang bertanda tangan



Dela Weranda

NIM. 2211511010

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

LAPORAN TUGAS AKHIR DELA FINAL.docx

ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	scholar.unand.ac.id Internet	731 words — 1%
2	ce.fti.unand.ac.id Internet	221 words — < 1%
3	arxiv.org Internet	177 words — < 1%
4	eprints.polsri.ac.id Internet	152 words — < 1%
5	repositori.unimma.ac.id Internet	117 words — < 1%
6	repository.uin-suska.ac.id Internet	111 words — < 1%
7	docplayer.info Internet	101 words — < 1%
8	repository.its.ac.id Internet	97 words — < 1%
9	Maheshbhai, Daxini Bhautik. "A Novel Deep Learning Approach for the Medical Imaging of Abdominal Organs.", Gujarat Technological University ProQuest	94 words — < 1%
10	eprints.undip.ac.id Internet	77 words — < 1%
11	repository.unissula.ac.id Internet	76 words — < 1%

ioinformatic.org