

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



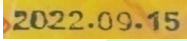
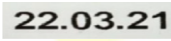
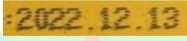
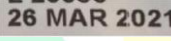
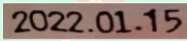
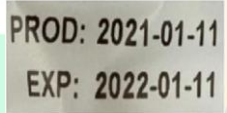
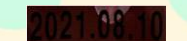
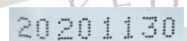
Gambar 1.3 1D Barcode Specification[9]

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

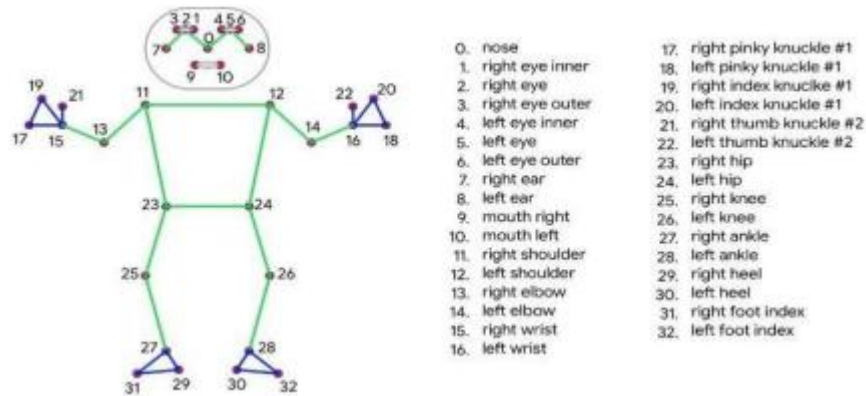
1.2.2.1.1 Solusi 1: Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition (HAR)* Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network (CNN)*

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]



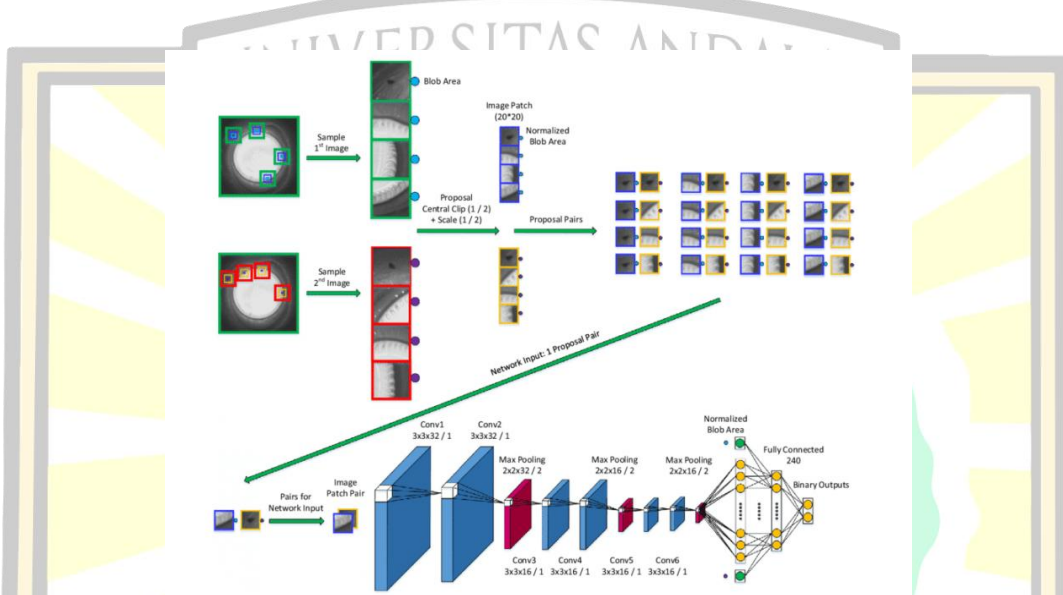
Gambar 1.5 Landmarks MediaPipe Blaze Pose [68]

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

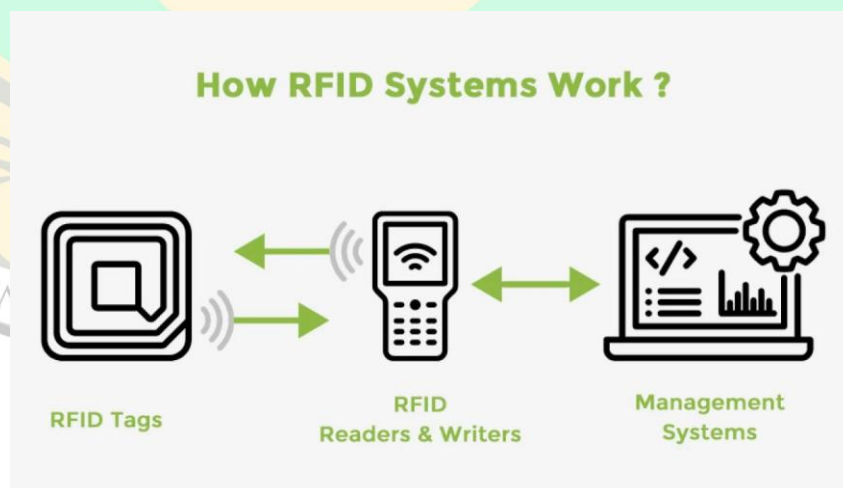
Convolutional Neural Network (CNN) [70]. Meskipun CNN umumnya dikenal untuk pengolahan citra statis, dalam sistem ini arsitekturnya dimodifikasi untuk mengenali pola spasial dan temporal dari urutan koordinat yang dihasilkan MediaPipe. Convolutional Neural Network (CNN) sendiri adalah jenis jaringan 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:

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

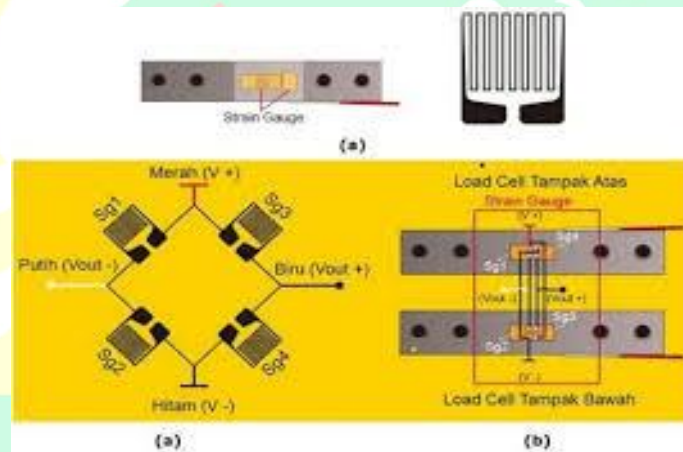
maka produk ke- i dianggap hilang atau berada di luar area pengawasan rak. Pendekatan ini memungkinkan deteksi kehilangan tanpa memerlukan pengamatan visual.

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

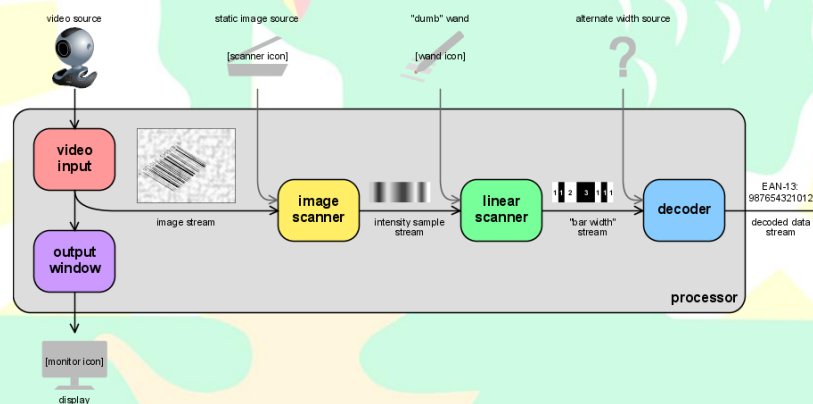
1.2.2.2 Subsistem 2 : Kedaluwarsa pada Produk

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* .

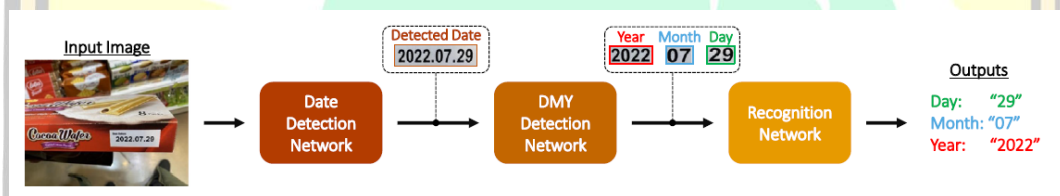


Gambar 1.9 Cara kerja barcode

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 .



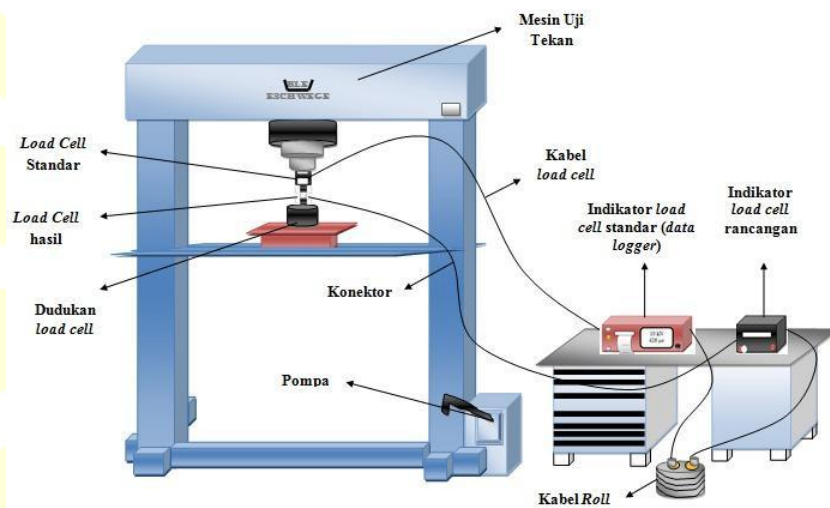
4. Tahap keempat adalah pembacaan data memori (memory data reading). Setelah ID produk dikenali, sistem melakukan pembacaan lebih dalam pada *User Memory Bank* dari tag RFID tersebut (jika data tanggal disimpan di chip) atau melakukan *query* ke basis data lokal berdasarkan EPC yang didapat.
5. Tahap 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 kedaluwarsa, 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 Kedaluwarsa 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]..

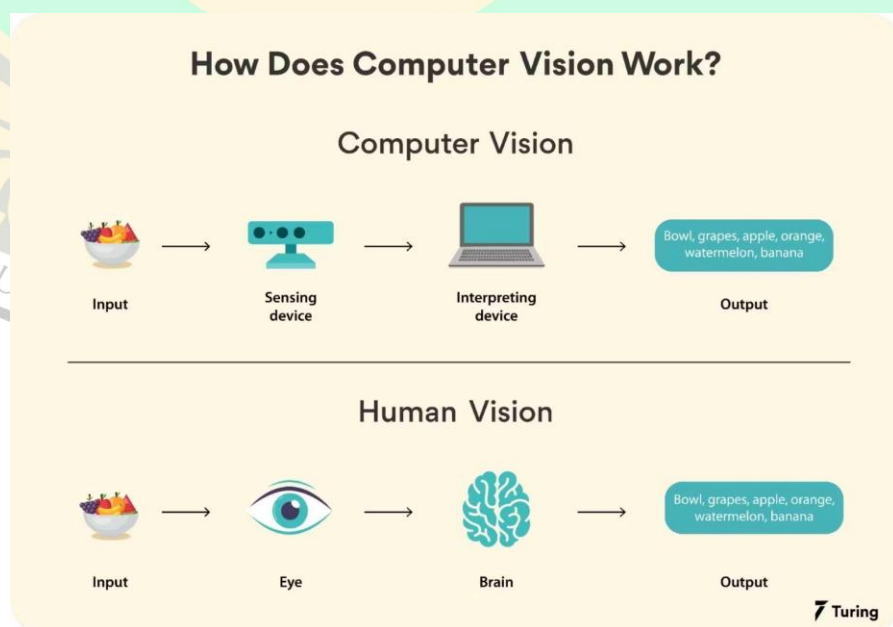
3. RFID reader membaca RFID tag secara otomatis tanpa kontak fisik, lalu mengirimkan data ke mikrokontroler dan server secara real-time [82][83].
4. Sistem mengurutkan data stok barang berdasarkan waktu masuk menggunakan metode FIFO [82][84].
5. Saat terjadi penjualan, stok dikurangi dari barang yang 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

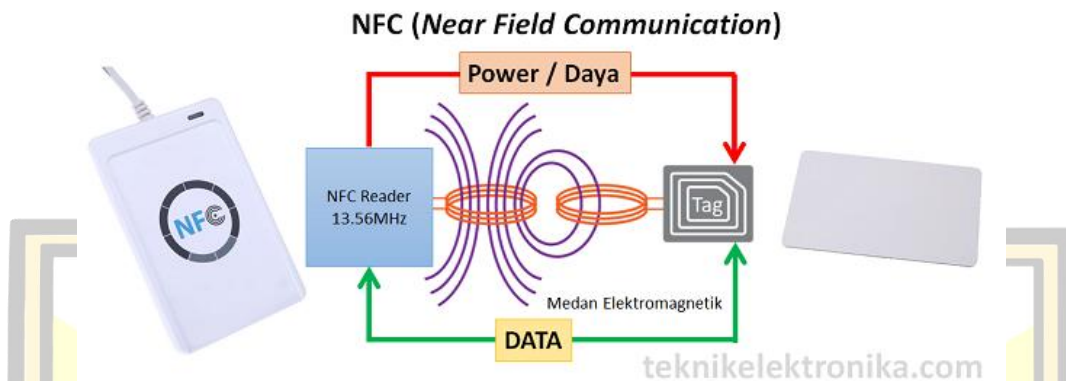
[89]. NFC mendukung komunikasi dua arah yang aman, sehingga sangat sesuai untuk digunakan dalam proses transaksi dan pengaksesan data oleh pengguna [90].

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

Tabel 1.6 Keterangan Simbol *House Of Quality*

50

○	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			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

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

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

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

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

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 peroleh 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