

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Toko kelontong modern merupakan salah satu jenis usaha ritel yang memiliki tingkat kerentanan terhadap kehilangan persediaan dan pencurian barang. Aktivitas pengambilan barang, pengembalian produk ke rak, pengisian ulang stok, serta transaksi pelanggan berlangsung secara bersamaan sehingga tidak seluruh pergerakan barang dapat diawasi secara langsung oleh petugas. Pada toko skala kecil hingga menengah, pengawasan masih sering dilakukan melalui pemeriksaan manual, pencocokan stok secara berkala, dan peninjauan rekaman kamera setelah terjadi selisih persediaan. Kondisi tersebut menyebabkan ketidaksesuaian antara aktivitas nyata dengan data inventori yang tercatat. Penelitian mengenai ketidakakuratan catatan persediaan menunjukkan bahwa catatan stok dapat berbeda secara signifikan dari kondisi fisik barang, terutama ketika proses pengawasan dan audit belum dilakukan secara konsisten [1]. Ketidaksesuaian ini dapat menyebabkan barang yang telah hilang tetap tercatat tersedia di dalam sistem.

Dampak yang ditimbulkan oleh kehilangan barang dan pencurian tersebut adalah meningkatnya kerugian finansial serta menurunnya akurasi pengelolaan persediaan toko. Kehilangan barang tidak hanya disebabkan oleh pencurian pelanggan, tetapi juga dapat berkaitan dengan pengambilan barang tanpa transaksi, pengeluaran barang tanpa pencatatan, kesalahan proses, dan pemindahan barang ke lokasi yang tidak sesuai. National Retail Federation melaporkan bahwa rata-rata tingkat retail shrink meningkat dari 1,4% pada tahun fiskal 2021 menjadi 1,6% pada tahun fiskal 2022. Nilai tersebut setara dengan kerugian sebesar 112,1 miliar dolar Amerika Serikat apabila dihitung berdasarkan total penjualan ritel tahun 2022 [2]. Hal ini menunjukkan bahwa kehilangan persediaan bukan hanya masalah keamanan, tetapi juga berpengaruh langsung terhadap ketersediaan barang, proses pengisian ulang, ketepatan laporan stok, dan potensi pendapatan toko.

Masalah kehilangan barang menjadi lebih sulit ditangani ketika pencurian diawali oleh aktivitas yang secara visual menyerupai perilaku normal pelanggan. Seseorang dapat mengambil produk dari rak, berpindah ke area lain, menyembunyikan barang,

atau meninggalkan area pembayaran tanpa melakukan transaksi. Apabila aktivitas tersebut hanya diamati berdasarkan satu gambar atau ditinjau setelah stok dihitung, hubungan antara pergerakan manusia, perubahan posisi barang, dan tidak adanya transaksi akan sulit diidentifikasi. Penelitian mengenai deteksi perilaku mencurigakan untuk pencegahan shoplifting menjelaskan bahwa aktivitas sebelum pencurian sering kali berlangsung secara lambat, memiliki kemiripan dengan aktivitas normal, dan memerlukan pengamatan terhadap rangkaian gerakan dalam rentang waktu tertentu [3]. Oleh karena itu, aktivitas abnormal dalam hal ini dipahami sebagai pola interaksi manusia dan barang yang menyimpang dari alur kegiatan normal, dan sebagai bukti langsung bahwa seseorang telah melakukan pencurian.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Kegiatan kehilangan barang pada toko kelontong modern dapat terjadi melalui aktivitas pengambilan produk yang tidak diikuti oleh proses transaksi. Aktivitas tersebut sering kali berlangsung di area rak dan melibatkan interaksi antara pelanggan, produk, serta lingkungan sekitar. Berbeda dengan aktivitas belanja normal yang umumnya hanya berupa mengambil produk untuk melihat informasi, membandingkan barang, lalu mengembalikannya atau membawanya ke area pembayaran, aktivitas shoplifting memiliki pola perilaku yang berpotensi menyebabkan barang keluar dari toko tanpa tercatat dalam sistem. Penelitian Nazir et al. menjelaskan bahwa perilaku mencurigakan sebelum pencurian dapat terlihat mirip dengan aktivitas normal, sehingga diperlukan pengamatan terhadap rangkaian gerakan dan bukan hanya satu kejadian pada satu waktu [4].



Gambar 1. 1 Kondisi Toko Tempat Uji Coba

Berdasarkan kondisi ruang pada lokasi implementasi, toko memiliki tata letak yang relatif padat dengan rak penyimpanan yang ditempatkan di sepanjang sisi ruangan dan beberapa rak gondola di bagian tengah. Produk tersusun pada beberapa tingkat rak dengan jenis dan ukuran yang beragam, sedangkan area kasir berada di bagian depan dan berdekatan dengan jalur keluar-masuk toko. Di dalam ruangan juga terdapat lemari pendingin serta berbagai peralatan operasional yang membatasi ruang gerak pada beberapa bagian. Susunan tersebut membentuk lorong-lorong yang relatif sempit dan menyebabkan jarak antara pelanggan, rak, serta petugas menjadi berdekatan. Kepadatan produk dan keberadaan rak tengah dapat membuat sebagian aktivitas tertutup dari sudut pandang petugas, terutama ketika terdapat lebih dari satu orang yang beraktivitas pada waktu yang sama.

Kondisi tata ruang tersebut dapat menyulitkan pengawasan manual karena petugas tidak selalu dapat mengamati seluruh area rak secara bersamaan. Beberapa posisi rak juga berpotensi menjadi area yang tidak terlihat secara langsung dari kasir, sehingga aktivitas mengambil, memindahkan, atau menyembunyikan produk dapat berlangsung tanpa segera diketahui. Oleh karena itu, kondisi fisik ruangan menjadi salah satu informasi penting dalam menentukan posisi alat, arah kamera, area pemantauan, dan cakupan deteksi. Sistem perlu dirancang agar mampu mengamati area rak bagian sisi, rak tengah, lorong perpindahan, serta hubungan pergerakan pelanggan dengan area kasir dan pintu keluar.

Normalnya suatu toko beroperasi antara 10-12 jam durasi operasional tersebut menyebabkan aktivitas pelanggan, petugas, dan perpindahan barang berlangsung dalam rentang waktu yang cukup panjang, sehingga peluang terjadinya kehilangan barang atau pencurian dapat muncul pada waktu yang berbeda-beda. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengawasan secara manual selama seluruh jam operasional akan membutuhkan perhatian dan tenaga yang besar.



Gambar 1. 2 Salah Satu Kegiatan Indikasi Shoplifting

Modus *shoplifting* yang umum adalah menyembunyikan produk tanpa melakukan pembayaran. Pelaku akan mengambil barang dari rak, lalu menyelipkannya di balik baju atau bagian dalam pakaian agar tidak terlihat. Untuk barang berukuran kecil, pelaku biasanya memasukkannya ke dalam saku celana atau jaket. Selain itu, produk juga sering disembunyikan ke dalam tas, ransel, atau wadah pribadi lainnya yang dibawa ke dalam toko. Tindakan ini diklasifikasikan sebagai perilaku anomali jika terjadi setelah barang diambil dari rak, di mana pelaku tidak menunjukkan niat untuk mengembalikan barang maupun membawanya ke area kasir.

Selain menyembunyikan barang, tindakan *shoplifting* juga dapat diidentifikasi melalui perubahan pola pergerakan setelah produk diambil. Pelaku mungkin mengambil barang dari rak, menjauhi lokasi tersebut, mencari area yang sepi dari pengawasan, lalu langsung menuju pintu keluar tanpa melewati kasir. Terkadang, pelaku juga berhenti sejenak atau berbalik arah secara mendadak setelah berhasil menyembunyikan barang. Rangkaian pergerakan ini menjadi data pendukung yang krusial karena sistem dapat mengkorelasikan urutan pengambilan barang, pergeseran postur tubuh, keberadaan produk, arah tujuan, serta ketiadaan transaksi. Meski demikian, pola-pola ini hanya boleh dianggap sebagai indikasi awal potensi pencurian, bukan sebagai bukti mutlak terjadinya pelanggaran.

Sebagai pembanding, kegiatan normal di area rak dapat ditunjukkan melalui perilaku seseorang yang memegang produk di depan rak untuk melihat label, harga, ukuran, atau informasi lainnya. Penelitian Kim et al. menjelaskan bahwa pelanggan

normal umumnya melakukan tindakan yang berkaitan dengan tujuan belanja, seperti melihat barang, mengambil produk, dan meletakkannya kembali [3]. Seseorang juga dapat mengambil produk kemudian mengembalikannya ke lokasi semula, memegang produk sambil berjalan menuju kasir, atau berjalan biasa di dalam toko tanpa melakukan gerakan menyembunyikan barang. Aktivitas berjalan biasa ditandai oleh arah gerak yang wajar, posisi tangan yang tidak berusaha menutupi produk secara berulang, tidak adanya perubahan gerak yang mendadak, serta tidak adanya tindakan memasukkan produk ke dalam baju, saku, atau tas. Perilaku tersebut dikategorikan sebagai aktivitas normal selama tidak disertai indikator lain yang menunjukkan adanya upaya membawa barang keluar tanpa transaksi.

Pembedaan antara perilaku normal dan anomali harus didasarkan pada kombinasi berbagai indikator. Sistem tidak bisa menyimpulkan adanya pencurian hanya karena pelanggan memegang barang, mondar-mandir di rak, atau membawa tas, sebab hal tersebut adalah aktivitas yang sah dilakukan pembeli. Indikator yang lebih relevan untuk dipantau mencakup perubahan posisi barang pasca-pengambilan, upaya menyembunyikan produk, perpindahan barang ke dalam pakaian atau tas, kecenderungan arah gerak menuju pintu keluar, serta ketiadaan catatan transaksi[3].

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 pengambilan produk tanpa transaksi dapat mengurangi jumlah persediaan yang dapat dijual dan menurunkan pendapatan toko. Ketidaksesuaian antara stok yang tercatat dengan kondisi fisik barang juga dapat menyebabkan toko melakukan pengadaan atau pengisian ulang berdasarkan data yang tidak akurat. Penelitian mengenai ketidakakuratan catatan persediaan menunjukkan bahwa perbedaan antara catatan sistem dan kondisi fisik barang dapat mengganggu pengambilan keputusan operasional serta membutuhkan proses audit

untuk dikendalikan[1].

Dampak ekonomi dari kehilangan barang juga terlihat pada tingginya nilai kerugian akibat retail shrink. National Retail Federation melaporkan bahwa tingkat shrink rata-rata ritel meningkat menjadi 1,6% pada tahun fiskal 2022 dan setara dengan kerugian sebesar 112,1 miliar dolar Amerika Serikat berdasarkan total penjualan ritel tahun tersebut[2]. Oleh karena itu, sistem deteksi aktivitas abnormal diperlukan untuk membantu mengurangi keterlambatan dalam menemukan potensi pencurian, mempercepat penelusuran kejadian, dan menekan kerugian finansial akibat barang yang keluar tanpa transaksi.

2. Aspek Operasional dan Keamanan Toko

Kehilangan barang dan pencurian dapat mengganggu kegiatan operasional karena petugas harus melakukan pemeriksaan ulang stok, menelusuri rekaman kamera, dan mencari barang yang tidak ditemukan pada lokasi yang tercatat. Toko yang menjadi lokasi implementasi memiliki waktu operasional sekitar 10–12 jam per hari dengan aktivitas pelanggan dan petugas yang berlangsung secara berulang. Dalam kondisi tersebut, pengawasan manual selama seluruh jam operasional membutuhkan konsentrasi dan tenaga yang besar serta berisiko melewatkan kejadian yang berlangsung singkat.

Kondisi ruangan yang memiliki rak pada sisi dan bagian tengah, lorong yang relatif sempit, serta area kasir yang berdekatan dengan jalur keluar-masuk dapat menyebabkan sebagian area tidak terlihat langsung oleh petugas. Oleh sebab itu, alat perlu mendukung pengawasan pada area rak, lorong perpindahan, area kasir, dan jalur keluar. Sistem juga harus mampu mengenali perbedaan antara aktivitas normal, seperti memegang produk di depan rak atau berjalan biasa, dan aktivitas yang berpotensi abnormal, seperti menyembunyikan produk ke dalam baju, saku, atau tas tanpa transaksi. Hasil deteksi digunakan sebagai peringatan awal agar petugas dapat melakukan verifikasi secara langsung.

3. Aspek Sosial

Kehilangan barang yang terjadi secara berulang dapat menimbulkan rasa saling curiga antara pemilik toko, petugas, dan pelanggan. Pengawasan yang hanya mengandalkan dugaan personal berpotensi menimbulkan tuduhan yang tidak

berdasar dan menurunkan kepercayaan di lingkungan kerja. Penerapan sistem pemantauan berbasis data diharapkan dapat membantu proses pemeriksaan dilakukan secara lebih objektif karena keputusan didasarkan pada waktu kejadian, lokasi, rangkaian aktivitas, dan bukti visual yang relevan.

Meskipun demikian, sistem tidak boleh menganggap setiap pelanggan yang membawa tas, memegang barang, atau berjalan di dekat rak sebagai pelaku pencurian. Penelitian mengenai identifikasi perilaku shoplifting menunjukkan bahwa pelanggan normal juga melakukan aktivitas seperti melihat barang, mengambil produk, dan meletakkannya kembali. Oleh karena itu, penilaian perlu dilakukan berdasarkan rangkaian aktivitas dan tidak hanya berdasarkan satu gerakan. Sistem sebaiknya berfungsi sebagai alat pemberi indikasi awal, sedangkan keputusan akhir tetap dilakukan oleh petugas melalui proses verifikasi. Pendekatan ini diperlukan untuk menjaga kenyamanan pelanggan, mencegah kesalahan identifikasi, dan melindungi hubungan sosial antara toko dengan masyarakat.

4. Aspek Teknologi dan Perlindungan Data

Sistem yang dirancang membutuhkan kemampuan untuk mendeteksi manusia, mengamati interaksi dengan produk, mengikuti perubahan posisi, serta menganalisis urutan gerakan pada area rak. Deteksi tidak cukup hanya menggunakan satu gambar karena aktivitas normal dan aktivitas mencurigakan dapat memiliki tampilan yang serupa. Penelitian mengenai deteksi perilaku mencurigakan untuk pencegahan shoplifting menekankan pentingnya pemanfaatan fitur temporal atau rangkaian pergerakan dalam proses klasifikasi aktivitas.

Data pemantauan, khususnya citra atau cuplikan video yang menampilkan pelanggan dan petugas, harus dikelola secara terbatas dan aman. Sistem perlu membatasi akses terhadap data hasil deteksi hanya kepada pihak yang berwenang, menyimpan data sesuai kebutuhan, dan menghindari penggunaan rekaman di luar tujuan pengamanan toko. Perlindungan tersebut diperlukan agar penerapan teknologi tidak menimbulkan risiko pelanggaran privasi.

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). Sebagai bagian dari arsitektur sistem, salah satu perangkat pendukung dirancang untuk menggunakan sumber daya mandiri berupa baterai dengan kapasitas sekitar ± 4000 mAh sebagai catu daya utama, bukan sebagai daya cadangan. Penggunaan baterai ini ditujukan untuk memungkinkan perangkat kedua beroperasi secara fleksibel dan independen dari jaringan listrik toko, misalnya untuk kebutuhan pemantauan bergerak, inspeksi rak secara langsung, atau pengambilan data visual pada area tertentu. Dengan kapasitas baterai tersebut, sistem dibatasi untuk menggunakan komponen berdaya rendah dan mekanisme pengolahan yang efisien agar perangkat tetap dapat beroperasi dalam durasi penggunaan yang memadai tanpa pengisian ulang yang terlalu sering.

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[4].

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[5].

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[6].

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 [7]. 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 [8].

5. Batasan Waktu Pengembangan dan Implementasi Sistem

Pengembangan dan penerapan sistem dibatasi oleh rentang waktu tertentu, yaitu sekitar $\pm$ 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 [9].

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. Sistem harus memantau aktivitas manusia secara kontinu untuk mencegah kehilangan barang. Pemantauan aktivitas manusia di area rak dilakukan secara terus-menerus untuk mengidentifikasi pola interaksi yang berpotensi menyebabkan produk diambil tanpa melalui proses transaksi.
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 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 dan peringatan dalam bentuk log yang terintegrasi sehingga dapat dijadikan bukti konkrit. Proses penyimpanan data log dimulai dari pengumpulan data aktivitas yang kemudian dianalisis untuk menentukan kondisi normal atau anomali. Hasil analisis berupa waktu kejadian dan disimpan secara otomatis dalam basis data terintegrasi agar dapat ditelusuri kembali sebagai bahan evaluasi dan bukti apabila terjadi kehilangan.
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.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan sistem yang telah dijelaskan, diperlukan suatu sistem yang mampu mendukung upaya pencegahan kehilangan atau kemalingan produk pada toko sembako modern. Sistem ini dirancang untuk mengawasi aktivitas manusia serta interaksinya dengan produk di area rak secara real-time, sehingga aktivitas yang berpotensi menimbulkan kehilangan dapat segera diidentifikasi. Sistem tersebut mampu membedakan aktivitas normal dari aktivitas mencurigakan yang mengarah pada pengambilan produk tanpa melalui proses transaksi. Apabila ditemukan aktivitas yang berpotensi menyebabkan kehilangan atau kemalingan, sistem akan memberikan peringatan dan notifikasi secara otomatis. Dengan demikian, petugas dapat segera melakukan pemeriksaan dan mengambil tindakan yang diperlukan.

Setiap aktivitas yang terdeteksi akan direkam dalam log secara terstruktur. Informasi yang disimpan mencakup waktu kejadian, jenis aktivitas, hasil deteksi, lokasi atau kamera yang digunakan, status peringatan, serta bukti gambar. Data tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bukti kejadian, bahan audit internal, dan dasar evaluasi untuk meningkatkan keamanan produk di dalam toko. Selain itu, sistem dirancang agar mampu beroperasi secara kontinu selama jam operasional toko dengan kinerja yang stabil. Oleh karena itu, sistem berperan tidak hanya sebagai perangkat pemantauan, tetapi juga sebagai mekanisme deteksi dini yang bertujuan mengurangi risiko kehilangan atau kemalingan produk serta membantu petugas dalam menjaga keamanan barang.

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 [10]–[12].

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 [13], [14]. 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 [15].

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 [16].

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 [17], [18]. Secara nasional, seluruh aktivitas pemrosesan data elektronik diselaraskan dengan ketentuan dalam UU ITE untuk menjamin keabsahan hukum dan akuntabilitas keputusan yang dihasilkan oleh sistem [19].

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 [20].

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 [21], [22]. 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 [23].

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 [24].

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 [25], [26]. 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 [27].

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 [28], [25].

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 [28].

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 [29]. Dari sisi keamanan aplikasi, sistem menerapkan pedoman OWASP ASVS untuk melindungi aplikasi dari kerentanan umum seperti akses tidak sah dan kebocoran data [30]. 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 [29], [23].

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 [31].

Pendekatan ini diselaraskan dengan ISO 50001:2018 yang mengatur penerapan sistem manajemen energi untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan energi [31]. Selain itu, pengukuran konsumsi daya mengacu pada IEC 62301 yang menetapkan metode evaluasi konsumsi energi perangkat elektronik, khususnya pada kondisi siaga [32]. 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 [33].

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 [33]. 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 [29].

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 [25].

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 [25], [34]. 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 [13].

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 [15]. 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 [19], [23], [35].

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

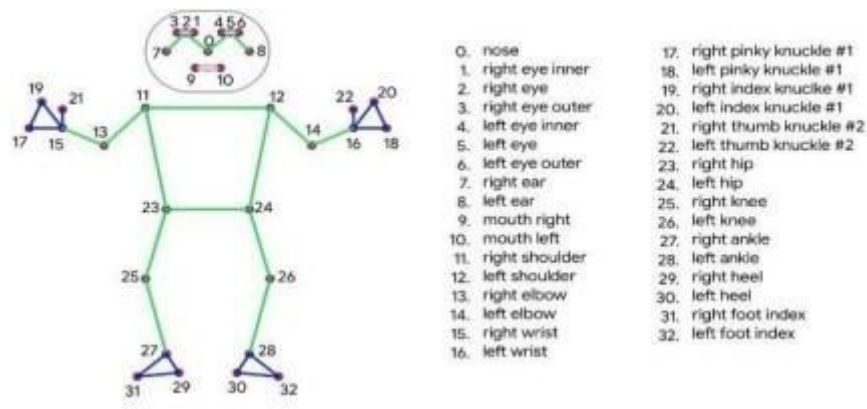
1.1.1.1.1 Solusi 1: Sistem Pengawasan Rak Berbasis *Human Activity Recognition* (HAR) Menggunakan MediaPipe Kombinasi Dengan Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN)

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 [36]. 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 [40].

MediaPipe adalah framework open-source dari Google yang digunakan untuk membangun aliran pengolahan data sensorik, khususnya data video dan gambar [38]. Dalam konteks pengenalan gerakan tangan, MediaPipe Hand sangat membantu untuk melakukan deteksi dan pelacakan landmark tangan secara waktu nyata [37]. 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. 3 Hand Landmark MediaPipe



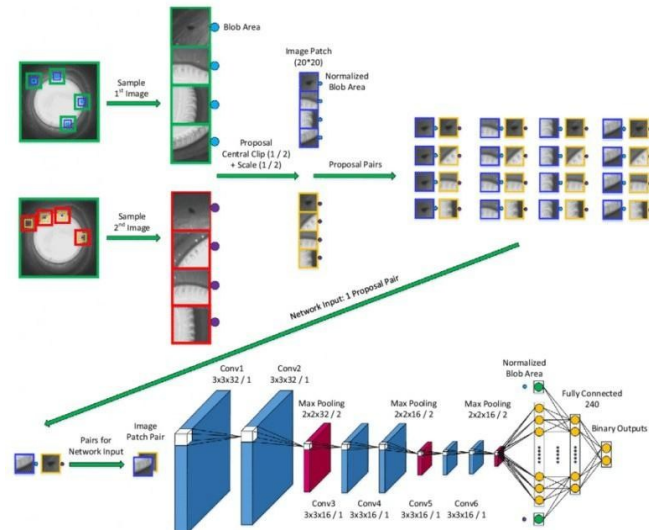
Gambar 1. 4 Body Landmark Mediapipe

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. 5 Konvolusi dalam Convolutional Neural Network

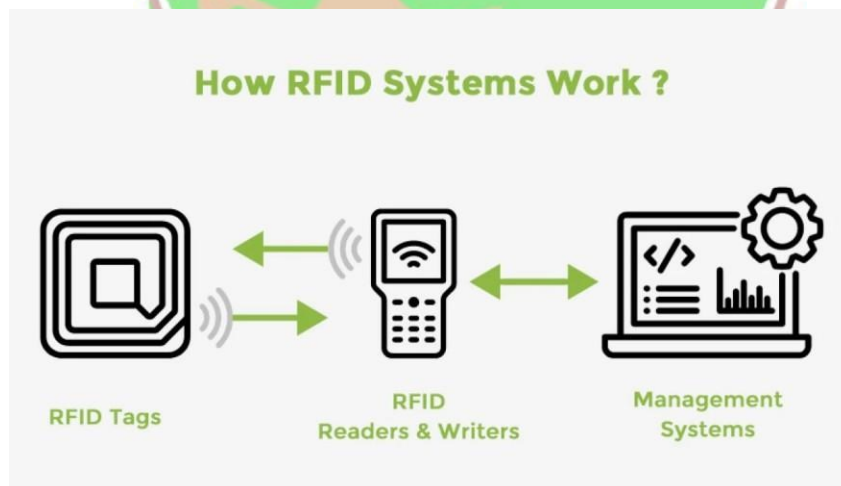
Convolutional Neural Network (CNN) [70]. Meskipun CNN umumnya dikenal untuk pengolahan citra statis, dalam sistem ini arsitekturnya dimodifikasi untuk mengenali pola spasial dan temporal dari urutan koordinat yang dihasilkan MediaPipe. Convolutional Neural Network (CNN) sendiri adalah jenis jaringan saraf tiruan yang sangat efektif untuk analisis data visual seperti citra [39]. 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.

1.1.1.1.2 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[40]. Dengan demikian, keberadaan produk tidak hanya diketahui secara global, tetapi juga dapat dipetakan berdasarkan lokasi zonanya.



Gambar 1. 6 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) [41].

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:

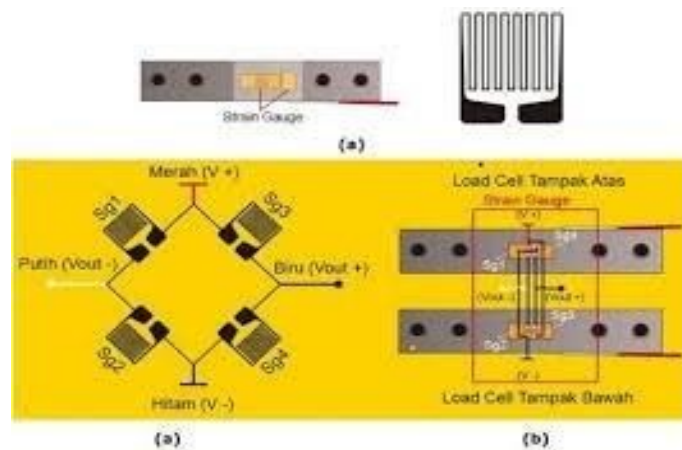
$$\forall Z \in Z, Z_i(t) = \emptyset$$

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.

1.1.1.1.3 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[42][43].



Gambar 1. 7 Cara Kerja Load Cell

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 $\Delta W \setminus \Delta W$ 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[44].

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

1.2.3 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	799
Relative Weight (%)			7,63%	11,63%	11,38%	6,63%	5,38%	11,88%	8,38%	10,88%	13,39%	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.

Adaptasi Proses Operasional 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.

Berdasarkan analisis, perhitungan, serta penjelasan yang dilakukan dalam membandingkan ketiga solusi yang ditawarkan untuk subsistem 1 ini, didapatkan perolehan solusi 1 dengan rating 4,44, solusi 2 dengan rating 3,32, dan solusi 3 dengan rating 2,98

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.

