



Rancangan *Smart Trolley* Mandiri berbasis IoT dan Navigasi Otomatis dalam Meningkatkan Efisiensi Penempatan Kembali di Area Supermarket

Yoana Nabilah Putri*, Epsilon Katiga Capricorna, Nur Ananda Rumi
Teknik Informatika, Universitas Esa Unggul, Jalan Arjuna Utara No.9, Kebon
Jeruk, Jakarta, Indonesia, 11510

*Penulis Korespondensi : yoananabilahp@student.esaunggul.ac.id

Abstract. *Internet of Things (IoT)-based digital transformation has become a major catalyst in improving the efficiency of operational systems in various sectors, including the modern retail industry. One of the common logistics problems found in supermarket environments is the accumulation of unorganized shopping trolleys, which can hinder service flow and increase staff workload. This study presents a design of an IoT-based autonomous smart trolley system and automatic navigation to address these problems in a structured manner. The system design utilizes the integration of ESP32 and Arduino UNO microcontrollers, ultrasonic sensors for distance detection, line sensors for automatic path navigation, and Raspberry Pi modules for visual image processing in location tracking. The system is designed to be able to independently reposition the trolley to a predetermined parking station. Conceptual analysis shows that this system has significant potential in reducing operational costs, increasing labor efficiency, and strengthening customer service automation. Initial evaluation of technical and economic feasibility aspects strengthens the opportunity for widespread system implementation in the future. This design is the first step in developing a smart retail solution based on adaptive technology that is in line with the principles of Society 5.0. Furthermore, the development of this smart trolley system also considers user safety and comfort through additional features such as anti-collision sensors, an early warning system in the event of technical problems, and a manual control option as an alternative in emergency situations. The integration of Internet of Things-based technology also enables real-time monitoring and management systems through a web-based dashboard or mobile application, which can be accessed by supermarket management for operational analysis. Thus, this system not only addresses internal logistics needs but also contributes to improving the overall customer experience.*

Keywords: *Automatic Navigation; Internet of Things; Operational Efficiency; Smart Trolley; Supermarket.*

Abstrak. Transformasi digital berbasis Internet of Things (IoT) telah menjadi katalis utama dalam peningkatan efisiensi sistem operasional di berbagai sektor, termasuk industri ritel modern. Salah satu permasalahan logistik yang umum ditemukan di lingkungan supermarket adalah akumulasi troli belanja yang tidak terorganisasi, yang dapat menghambat alur pelayanan dan meningkatkan beban kerja staf. Penelitian ini menyajikan rancangan sistem smart trolley mandiri berbasis IoT dan navigasi otomatis guna mengatasi permasalahan tersebut secara terstruktur. Rancangan sistem memanfaatkan integrasi mikrokontroler ESP32 dan Arduino UNO, sensor ultrasonik untuk pendeteksian jarak, sensor garis sebagai navigasi jalur otomatis, serta modul Raspberry Pi untuk pengolahan citra visual dalam pelacakan lokasi. Sistem dirancang agar mampu melakukan proses penempatan kembali troli secara mandiri menuju stasiun parkir yang telah ditentukan. Analisis konseptual menunjukkan bahwa sistem ini memiliki potensi signifikan dalam menurunkan biaya operasional, meningkatkan efisiensi tenaga kerja, serta memperkuat otomatisasi layanan konsumen. Evaluasi awal terhadap aspek kelayakan teknis dan ekonomis memperkuat peluang implementasi sistem secara luas di masa mendatang. Rancangan ini menjadi langkah awal dalam pengembangan solusi ritel cerdas berbasis teknologi adaptif yang selaras dengan prinsip Society 5.0. Selain itu, pengembangan sistem smart trolley ini turut mempertimbangkan aspek keamanan dan kenyamanan pengguna melalui fitur-fitur tambahan seperti sensor anti-tabrakan, sistem peringatan dini apabila terjadi kendala teknis, serta opsi kontrol manual sebagai alternatif dalam kondisi darurat. Integrasi teknologi berbasis Internet of Things juga memungkinkan pemantauan dan manajemen sistem secara real-time melalui dashboard berbasis web atau aplikasi seluler, yang dapat diakses oleh manajemen supermarket untuk analisis operasional. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya menjawab kebutuhan logistik internal, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan pengalaman pelanggan secara keseluruhan.

Kata kunci: Efisiensi Operasional; *Internet of Things*; Navigasi Otomatis; Supermarket; Troli Cerdas.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi pada era Industri 4.0 dan *Society 5.0* telah mendorong transformasi besar di berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor ritel modern. Supermarket sebagai salah satu simpul utama distribusi barang konsumsi memiliki peran strategis dalam mendukung efektivitas pelayanan public dan efisiensi operasional (Rasyid, Aisa, and Rizal 2024). Tingginya intensitas pengunjung di supermarket menuntut penyediaan fasilitas yang tidak hanya fungsional, tetapi juga mendukung kenyamanan dan kelancaran aktivitas belanja konsumen. (Frano et al. 2023; Gonzalez et al. 2020)

Salah satu elemen penting dalam aktivitas belanja adalah keberadaan troli belanja. Dalam praktiknya, penggunaan troli belanja yang dilakukan secara bergantian menimbulkan tantangan tersendiri dalam aspek manajemen dan penempatan kembali. Troli yang dibiarkan tercecer setelah digunakan, baik di lorong-lorong toko maupun area luar seperti tempat parkir, lorong toko, atau tempat-tempat lain di luar area yang telah disediakan, dapat menyebabkan gangguan visual, menurunkan kenyamanan, serta menambah beban kerja operasional staf (Pengetahuan et al. 2025; Raath and Hughes 2025). Kondisi ini berdampak langsung pada penurunan efisiensi layanan serta dapat memengaruhi citra pelayanan suatu supermarket (Bello-Salau et al. 2021).

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem smart trolley berbasis Internet of Things, pendekatan yang diusung umumnya berfokus pada peningkatan interaksi dan kenyamanan pengguna selama proses berbelanja. (Swetha K B et al. 2021a) merancang sistem troli cerdas yang memungkinkan pelanggan memantau serta mengelola daftar belanja secara mandiri dengan memanfaatkan teknologi RFID untuk pelacakan produk, serta integrasi dengan aplikasi bergerak guna mendukung interaksi jarak jauh. Sementara itu, (Venkata Sai Prasad et al. 2023) mengembangkan troli belanja yang dilengkapi dengan fitur seperti pemindai kode batang (barcode scanner), layar sentuh, serta pengenalan biometrik, yang dirancang untuk mempercepat proses belanja dan mengurangi waktu antrean di kasir.

Kedua pendekatan tersebut menunjukkan kontribusi yang signifikan dalam aspek layanan konsumen, khususnya dalam mendukung sistem transaksi yang efisien dan modern. Namun demikian, fokus utama pada interaksi pengguna belum menyentuh aspek pengelolaan troli secara otomatis pascapenggunaan, yang dalam praktiknya menjadi permasalahan tersendiri di lingkungan supermarket, terutama terkait keteraturan tata ruang dan beban kerja staf operasional (Ofer, Kaufman, and Linial 2024).

Penerapan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan navigasi otomatis menawarkan pendekatan inovatif untuk menjawab tantangan tersebut. Dengan memanfaatkan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32, sensor ultrasonik, serta unit pemrosesan seperti Raspberry Pi, sistem troli cerdas dapat dirancang untuk kembali ke titik asal secara mandiri tanpa intervensi manual. Teknologi navigasi berbasis sensor garis atau pengolahan visual turut memperkuat presisi pergerakan troli dalam lingkungan supermarket yang dinamis (Adeyanto, Izzuddin, and Hikmah 2020; Hanafi and Almasri 2024).

Oleh karena itu, perancangan troli belanja mandiri berbasis IoT dan navigasi otomatis menjadi solusi yang potensial dalam meningkatkan efisiensi penempatan kembali troli. Inovasi ini tidak hanya mampu mengurangi beban kerja pegawai, tetapi juga mendukung keteraturan fasilitas dan kenyamanan pengunjung. Selain memberikan kontribusi pada efisiensi operasional, pendekatan ini relevan dengan arah transformasi digital di sektor ritel yang adaptif terhadap kebutuhan era Society 5.0 (Tubis and Rohman 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis bertujuan untuk memberikan landasan ilmiah terhadap pemilihan teknologi dan pendekatan dalam perancangan sistem Smart Trolley. Teori dan konsep yang dibahas mencakup teknologi Internet of Things (IoT), sistem navigasi otomatis berbasis sensor, serta pendekatan efisiensi biaya dalam otomasi ritel.

A. *Internet of Things* (IoT)

IoT adalah paradigma teknologi yang memungkinkan objek fisik untuk terhubung dan saling berkomunikasi melalui jaringan internet. Dalam konteks smart trolley, IoT berperan dalam integrasi sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi agar troli dapat dikontrol dan dipantau secara otomatis. (Ardi, Triyono, and Apra Santosa 2024; Raath and Hughes 2025) menegaskan bahwa IoT membuka peluang baru dalam efisiensi layanan ritel melalui otomatisasi perangkat. IoT berperan sebagai kerangka utama dalam membangun sistem otomatisasi berbasis sensor dan mikrokontroler yang saling terintegrasi. Hal ini diperkuat oleh Simanjuntak et al. (n.d.) yang menyatakan bahwa IoT bukan hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga mendorong keberlanjutan teknologi jangka panjang dalam sektor operasional.

B. Navigasi Otomatis dan Sensor

Navigasi otomatis mengandalkan sensor untuk mendeteksi jalur dan rintangan. Sensor ultrasonik digunakan untuk deteksi hambatan, sedangkan sensor garis dan kamera digunakan untuk pelacakan jalur. Penelitian oleh (Hanafi & Almasri, 2024) menunjukkan bahwa integrasi sensor dengan mikrokontroler seperti Arduino dapat menghasilkan sistem kendali robotik yang

responsif terhadap lingkungan sekitar. Integrasi antara sistem navigasi visual (RGB Thresholding via kamera Raspberry Pi) dan navigasi garis statis (sensor infrared) memberikan opsi fleksibel tergantung pada skenario implementasi. Hal ini sejalan dengan penelitian Hanafi & Almasri (2024) yang menekankan pentingnya adaptasi teknologi berdasarkan tingkat kompleksitas lingkungan fisik.

C. Sistem Kontrol dan Mikrokontroler

Mikrokontroler seperti Arduino UNO dan ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima input dari sensor dan menghasilkan perintah untuk penggerak motor. ESP32 memiliki keunggulan dalam konektivitas nirkabel yang mendukung komunikasi dengan sistem monitoring berbasis IoT. Studi oleh (Adeyanto et al.) menunjukkan pentingnya kombinasi logika kontrol dengan perangkat keras dalam sistem navigasi cerdas. Strategi modular dan pemanfaatan komponen open-source seperti ESP32 dan Raspberry Pi membuka kemungkinan inovasi terbuka dan kolaborasi antar lembaga riset dan pendidikan (Bello-Salau et al., 2021), yang merupakan elemen penting dalam pengembangan sistem cerdas berkelanjutan.

D. Efisiensi Biaya dan Otomatisasi Ritel

Menurut Simanjuntak et al. (n.d.), investasi pada sistem berbasis IoT mungkin lebih tinggi di awal, tetapi mampu menghemat biaya operasional dalam jangka panjang. Ini sesuai dengan perbandingan sistem manual dan smart trolley dalam penelitian ini yang menunjukkan efisiensi biaya setelah 3 tahun implementasi.

E. Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan konsep smart trolley berbasis teknologi Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan pengalaman pengguna selama proses berbelanja. Swetha K. B. et al. (2021) merancang sistem troli cerdas yang memungkinkan pelanggan memantau serta mengelola daftar belanja secara mandiri dengan memanfaatkan teknologi RFID untuk pelacakan produk, serta integrasi dengan aplikasi bergerak guna mendukung interaksi jarak jauh. Inovasi ini bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dengan menyediakan sistem yang lebih terpersonalisasi dan efisien dalam proses belanja.

Selanjutnya, Venkata Sai Prasad et al. (2023) mengembangkan troli belanja yang dilengkapi fitur seperti pemindai kode batang (barcode scanner), layar sentuh, dan pengenalan biometrik. Sistem ini dirancang untuk mempercepat proses transaksi dan mengurangi waktu antrean di kasir, menjawab kebutuhan efisiensi dalam transaksi ritel modern. Fokus utama dari kedua penelitian tersebut adalah interaksi pengguna dan otomatisasi transaksi, bukan pada pengembalian troli secara mandiri setelah digunakan.

Selain itu, Bello-Salau et al. (2021) mengusulkan penerapan sistem smart cart berbasis IoT dan sensor sebagai solusi efisien untuk meningkatkan manajemen dan keberadaan fisik troli di pusat perbelanjaan. Penelitian tersebut menyoroti pentingnya pemantauan posisi troli secara real-time untuk mencegah kehilangan dan mempercepat proses pengumpulan. Walaupun pendekatan ini relevan dalam konteks efisiensi pengelolaan fasilitas, solusi yang ditawarkan belum mengarah pada sistem otonom yang memungkinkan troli kembali ke posisi semula secara mandiri tanpa intervensi manusia.

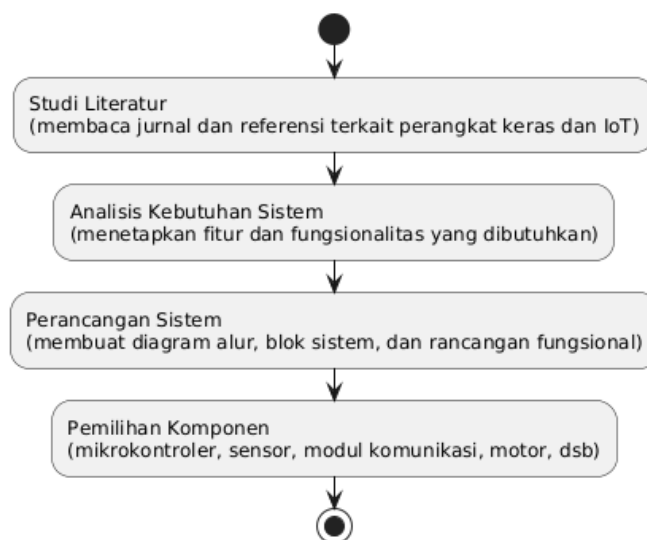
Dengan demikian, meskipun sejumlah studi telah berkontribusi terhadap pengembangan sistem smart trolley, sebagian besar masih berfokus pada aspek pengalaman belanja dan transaksi pengguna. Belum banyak penelitian yang secara spesifik menekankan pada desain sistem navigasi otomatis untuk mendukung penempatan ulang troli secara mandiri, yang menjadi inti dari penelitian ini.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur yang dikombinasikan dengan perancangan konseptual berbasis rekayasa sistem. Langkah awal dimulai dengan identifikasi permasalahan umum di area supermarket, khususnya pada aspek pengelolaan dan pengembalian keranjang belanja. Permasalahan ini menjadi dasar dalam memutuskan kebutuhan sistem dan fungsi utama yang harus dimiliki oleh *smart trolley* mandiri.

Selanjutnya, dilakukan penelusuran sistematis terhadap literatur ilmiah dan dokumen teknis terkini yang relevan, guna memperoleh pemahaman mendalam mengenai prinsip kerja perangkat keras (hardware) seperti mikrokontroler, sensor, dan aktuator yang digunakan dalam sistem otomatisasi.

Hasil telaah literatur dijadikan dasar dalam merancang struktur sistem secara konseptual, melalui penyusunan diagram blok dan diagram alur sistem. Proses ini mencakup pemetaan fungsi tiap komponen, pemilihan jenis sensor, serta strategi pengolahan data dan kendali gerak. Sebagai langkah akhir, dilakukan analisis komparatif antar komponen berdasarkan efisiensi, kapabilitas teknis, dan kecocokannya dalam konteks operasional supermarket, guna menghasilkan konfigurasi sistem yang optimal dan aplikatif (Nurhakim 2025).



Gambar 1. Diagram Alir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Inovasi Sistem dan Perancangan Perangkat Keras

Deskripsi Inovasi Smart Trolley

Sistem Smart Trolley otomatis yang dirancang dalam penelitian ini merupakan bentuk inovasi baru dalam bidang otomasi logistik internal pada lingkungan ritel modern, khususnya supermarket. Berbeda dari sistem otomasi yang telah umum digunakan, seperti perangkat vacuum cleaner otomatis yang dikendalikan melalui aplikasi ponsel pintar, sistem ini memiliki cakupan fungsi yang lebih spesifik dan difokuskan pada pengelolaan serta pengembalian troli secara mandiri. Hal ini menjadikan sistem Smart Trolley sebagai solusi berbasis teknologi yang lebih terarah untuk mendukung efisiensi operasional dan pengurangan intervensi manusia dalam pengelolaan troli belanja.

Perancangan Perangkat Keras

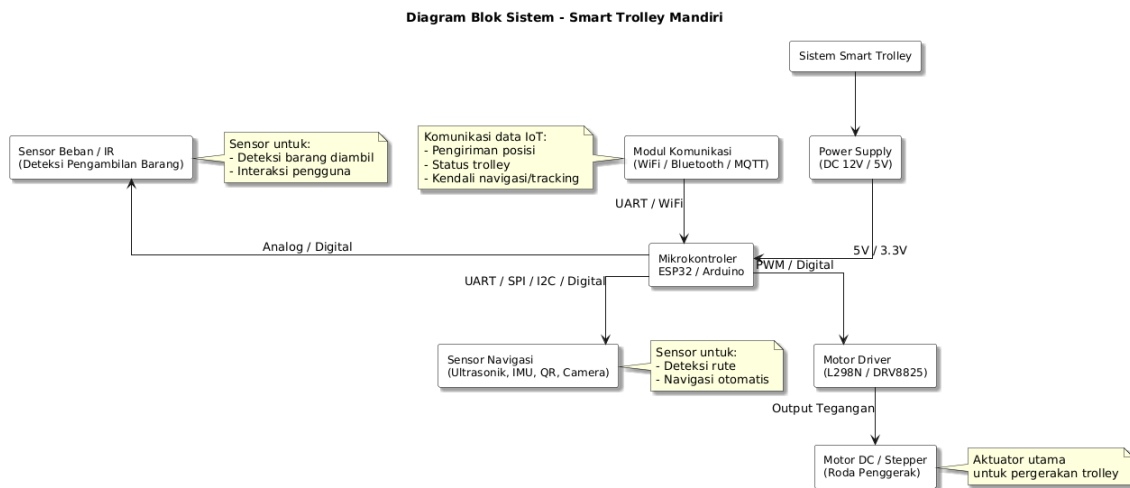
Perancangan perangkat keras merupakan bagian krusial dari system ini. Tabel berikut meruangkum komponen utama beserta fungsinya:

Tabel 1. Rincian Alat dan Fungsi Sistem *Smart Trolley*.

Nama Alat	Tipe	Tujuan/Fungsi Pengguna
Power Supply	12V dan 5V	Menyediakan tegangan untuk motor (12V) dan mikrokontroler serta sensor (5V). Menjamin kestabilan daya sistem, termasuk Raspberry Pi yang butuh 5V dengan arus minimal 3A.
ESP32	Mikrokontroler (System on Chip)	Mengendalikan sistem secara keseluruhan, mengolah data sensor, dan mengirim informasi ke pengguna melalui Wi-Fi/Bluetooth. Cocok untuk sistem IoT.
Arduino Uno	Mikrokontroler	Pusat kendali sistem; menerima perintah dari smartphone via Bluetooth, membaca sensor, dan mengontrol motor DC. Digunakan untuk logika dan kontrol otomatis troli.

Nama Alat	Type	Tujuan/Fungsi Pengguna
Raspberry Pi	Komputer Mini (GPIO support)	Digunakan untuk proses visual seperti pengolahan gambar dari kamera, serta kontrol lanjutan dalam sistem otomasi trolley. Mendukung integrasi dengan sensor dan aktuator.
Bolt ESP8266	Modul Wi-Fi	Menghubungkan sistem ke internet atau cloud, memungkinkan pemantauan dan kendali perangkat dari jarak jauh melalui platform IoT.
Bluetooth HC-05	Modul Bluetooth	Komunikasi jarak pendek antara trolley dan smartphone. Digunakan untuk kontrol manual gerakan trolley oleh pengguna.
MQTT	Protokol komunikasi IoT	Menyediakan komunikasi ringan berbasis publish-subscribe antara client dan server. Mengirim data status trolley secara efisien.
L298N	Motor Driver	Mengontrol dua motor DC untuk pergerakan trolley berdasarkan sinyal dari Arduino.
BTS7960	Motor Driver	Alternatif driver motor DC dengan daya lebih besar, menerima sinyal dari Arduino untuk mengatur gerakan motor.
Sensor Ultrasonik	HC-SR04	Mendeteksi keberadaan rintangan di depan trolley untuk mencegah tabrakan atau navigasi tidak akurat.

Integrasi antar komponen perangkat keras dalam sistem Smart Trolley dapat divisualisasikan melalui diagram blok berikut, yang menunjukkan alur data, koneksi komunikasi, serta distribusi daya antara sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan motor penggerak.



Gambar 2. Perancangan Sistem Perangkat Keras.

Sistem Navigasi dan Integrasi IoT

Navigasi Otomatis

Navigasi sistem menggunakan kombinasi visual camera dan sensor garis inframerah. Kamera akan memindai jalur berbasis warna menggunakan algoritma *RGB thresholding*, sedangkan sensor garis digunakan untuk sistem yang lebih sederhana dan hemat daya. Sistem juga dilengkapi sensor ultrasonik untuk mencegah tabrakan.

Tabel 2. Komponen Navigasi dan Fungsinya.

Nama Alat	Letak / posisi	Fungsi Utama
Kamera	Bagian depan troli	Menangkap citra pengguna atau jalur lantai. Diproses oleh Raspberry Pi menggunakan algoritma RGB Thresholding untuk mengenali posisi objek.
Raspberry Pi (proses citra)	Terintegrasi dengan sistem	Memproses data gambar dari kamera dan menentukan arah berdasarkan nilai warna piksel. Digunakan untuk pelacakan visual jalur atau pengguna.
Sensor Ultrasonik (HC-SR04)	Bagian depan troli	Mendeteksi rintangan dalam jarak tertentu (misalnya < 20 cm), dan menghentikan pergerakan troli jika ada objek di depan.
Sensor Warna Kamera	Arah ke lantai atau jalur	Pelacakan jalur berdasarkan warna garis yang ditandai di lantai. Digunakan jika sistem tidak memakai sensor garis.
Sensor (Infrared)	Garis (menghadap lantai)	Bawah troli Mendeteksi jalur hitam di lantai sebagai alternatif dari pelacakan kamera. Cocok untuk rancangan sistem yang sederhana dan dapat dikembangkan dengan cepat

Selain itu, apabila kamera tidak digunakan sistem dapat menggunakan sensor garis (*Infrared Line Sensor*) untuk mengikuti jalur hitam yang telah ditandai di lantai.



Gambar 3. Pengembangan Sistem dan Sensor Navigasi Otomatis

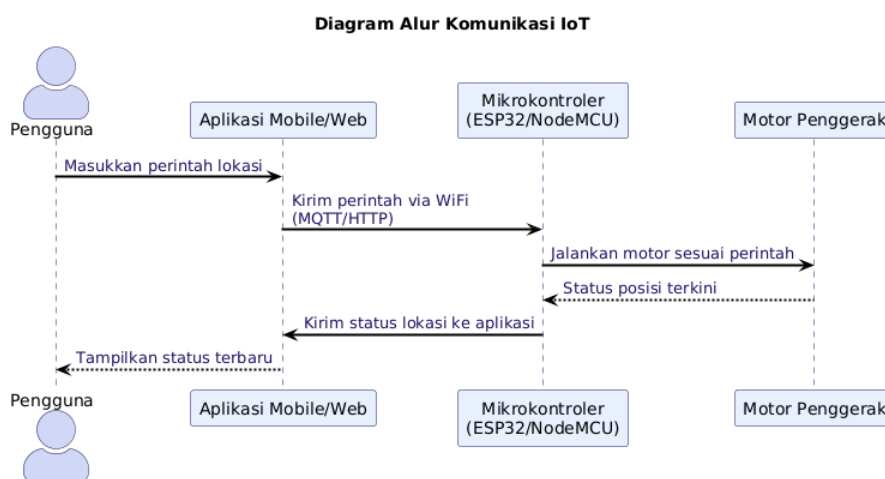
Integrasi Aplikasi IoT dan Kontrol Navigasi

Sistem *Smart Trolley* mandiri juga dapat diintegrasikan dengan platform *internet of things* (IoT) untuk memantau pergerakan troli secara *real-time*, terutama saat troli menjalankan tugas otomatis Kembali ke area parkir setelah selesai digunakan. Aplikasi berbasis IoT dikembangkan untuk mengirim dan menerima data pergerakan troli, seperti status lokasi, status idle atau aktif, serta perintah navigasi ke titik tujuan tertentu.

Komunikasi data antara troli dan aplikasi monitoring dilakukan melalui koneksi WiFi atau *Bluetooth*, tergantung kebutuhan. Mikrokontroler seperti ESP32 atau Raspberry Pi berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima perintah dari aplikasi dan mengontrol motor

penggerak sesuai dengan jalur yang telah deprogram. Aplikasi IoT dapat dikembangkan menggunakan platform seperti Blynk, MQTT dashboard, atau antarmuka web lokal.

Sistem ini tidak mengelola daftar belanja atau informasi transaksi pembelian, tetapi murni berfokus pada otomatis pemindahan troli secara efisien dari area kasir kembali ke tempat penyimpanan, sehingga meminimalisasi kebutuhan intervensi staf supermarket dan menjaga keteraturan tata letak troli (Swetha K B et al. 2021b; Yusuf 2025).



Gambar 4. Integrasi dengan Aplikasi IoT untuk Pemantauan dan Kontrol Navigasi.

Tantangan, Keterbatasan, dan Analisis Efisiensi Sistem

Keterbatasan Validasi Sistem di Lingkungan Nyata

Dalam tahapan ini, sistem *smart trolley* masih berada dalam fase konseptual dan simulasi berbasis kajian literatur. Belum dilakukannya pengujian langsung di lapangan menjadi keterbatasan utama dalam menilai keandalan sistem secara menyeluruh dalam kondisi operasional sebenarnya. Berbagai dinamika yang terjadi di lingkungan supermarket, seperti kepadatan pengunjung, perubahan tata letak toko, dan kendala teknis lainnya, belum dapat divalidasi secara empiris. Oleh karena itu, efektifitas dan adaptabilitas sistem masih perlu dibuktikan melalui uji coba lapangan.

Hal ini juga diperkuat oleh hasil studi yang menunjukkan bahwa validasi sistem berbasis IoT dalam skala lingkungan nyata seperti supermarket memerlukan pendekatan eksperimental langsung guna memastikan reliabilitas sistem dalam berbagai kondisi dinamis (Anjani et al., 2020).

Keterbatasan pada Perangkat Keras

Dari sisi teknis, sistem menghadapi beberapa keterbatasan, antara lain daya tahan baterai dan efisiensi motor penggerak yang belum optimal untuk penggunaan jangka panjang.

Selain itu, sistem masih bergantung pada sensor garis berbasis jalur statis, sehingga mengurangi fleksibilitas dalam menyesuaikan perubahan tata letak toko.

Inovasi lebih lanjut pada efisiensi energi, sensor adaptif, serta integrasi teknologi *vision-based navigation* diperlukan untuk meningkatkan kinerja sistem secara menyeluruh. Keterbatasan ini sejalan dengan temuan (Hartanto et al. 2024) yang menekankan pentingnya efisiensi energi dan optimalisasi penggunaan perangkat keras pada sistem IoT agar dapat menunjang operasional jangka panjang (Zulfiani et al. 2025).

Kendala Biaya dan Efisiensi Investasi

Implementasi sistem *smart trolley* memerlukan investasi awal yang relatif tinggi, terutama disebabkan oleh kompleksitas perangkat keras dan teknologi pendukung lainnya. Estimasi biaya untuk satu unit *smart trolley* berkisar pada Rp2.200.000, tergantung konfigurasi. Berikut adalah rincian estimasi biaya dari komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem:

Tabel 3. Estimasi Biaya Perangkat Smart Trolley Per Unit.

Komponen	Fungsi Utama	Estimasi Harga
ESP32	Mikrokontroler utama dengan Wifi/Bluetooth	70.000
Arduino UNO	Mikrokontroler pendukung (motor & sensor)	80.000
Raspberry Pi 3/4	Navigasi lanjutan dan pengolahan citra (kamera)	1.000.000
Bolt ESP8266	Modul WiFi tambahan (opsional jika ESP32 diapakai)	35.000
Bluetooth HC-05	Komunikasi jarak pendek ke HP	40.000
Sensor Ultrasonik HC – SR04	Deteksi rintangan di depan troli	12.000
Sensor Garis (IR Line Sensor)	Pelacakan jalur garis di lantai	28.000
Kamera USB atau Pi Camera	Deteksi jalur visual/pengguna	150.000
Motor DC + Roda + Gearbox	Penggerak roda troli	100.000
Driver Motor L298N	Mengontrol motor dari sinyal Arduino	40.000
Driver motor BTS7960	Alternatif driver dengan daya besar (jika diperlukan)	80.000
Power Supply (12V & 5V)	Catu daya motor dan kontroler	80.000
Baterai Li-Lon + charger	Sumber daya portable	110.000
Rangka Troli + Dudukan	Struktur fisik troli	350.000
Komponen		

Total Estimasi per Unit: ± Rp2.200.000.

Jika sistem ini diterapkan dalam skala operasional menengah dengan kebutuhan 50 unit, maka total investasi awal yang diperlukan adalah : $Rp2.200.000 \times 50 = Rp110.000.000$.

Jumlah tersebut terlihat jauh lebih besar dibandingka investasi awal sistem konvensional berupa keranjang manual, yang hanya memerlukan biaya sebesar: $Rp350.000 \times 50 = Rp17.500.000$.

Namun, dalam jangka panjang, *smart trolley* memiliki potensi untuk menghasilkan efisiensi biaya operasional yang signifikan. Salah satu indikator efisiensi adalah pengurangan biaya penggantian perangkat akibat kerusakan. Berdasarkan pengamatan lapangan, keranjang

manual sering mengalami kerusakan akibat penggunaan yang berlebihan, kurangnya pengawasan, serta kondisi lingkungan yang tidak mendukung (misalnya ditinggalkan di luar ruangan, terkena hujan, atau hilang). Dengan demikian, diasumsikan bahwa 60% dari total keranjang mengalami kerusakan setiap tahun dan memerlukan penggantian..

Perbandingan Biaya Total Selama 3 Tahun

Skenario: Keranjang Manual

- a. Biaya awal (50 unit): Rp17.500.000
- b. Kerusakan tahunan (60% dari 50 unit = 30 unit) : $30 \times \text{Rp}350.000 = \text{Rp}10.500.000/\text{tahun}$.
- c. Total kerusakan selama 3 tahun: $3 \times \text{Rp}10.500.000 = \text{Rp}31.500.000$.
- d. Kebutuhan tenaga kerja (3 orang \times Rp2.000.000 \times 36 bulan) = Rp216.000.000.
- e. Total biaya sistem manual selama 3 tahun: $\text{Rp}17.500.000 + \text{Rp}31.500.000 + \text{Rp}216.000.000 = \text{Rp}265.000.000$.

Skenario: Smart Trolley

- a) Biaya awal (50 unit): Rp110.000.000.
- b) Biaya pemeliharaan selama 3 tahun (Rp2.000.000/tahun) = Rp6.000.000.
- c) Kebutuhan teknisi internal (2 orang \times Rp2.000.000 \times 36 bulan) = Rp144.000.000.
- d) Total biaya sistem smart trolley selama 3 tahun: $\text{Rp}110.000.000 + \text{Rp}6.000.000 + \text{Rp}144.000.000 = \text{Rp}260.000.000$.

Analisis Perbandingan

Berikut ini merupakan tabel perbandingan antara keranjang manual dengan *smart trolley*:

Tabel 4. Perbandingan Total Biaya Sistem Troli Selama 3 Tahun.

Komponen Biaya	Keranjang Manual	Smart Trolley
Biaya Awal	Rp17.500.000	Rp110.000.000
Biaya Kerusakan/ Pemeliharaan	Rp31.500.000	Rp6.000.000
Gaji Tenaga Kerja/Teknisi	Rp216.000.000	Rp144.000.000
Total Biaya 3 Tahun	Rp265.000.000	Rp260.000.000

Dari data tersebut, terlihat bahwa biaya total sistem keranjang manual lebih tinggi dibandingkan sistem smart trolley, dengan selisih sebesar Rp5.000.000 dalam periode tiga tahun. Selisih ini masih dapat meningkat apabila frekuensi kerusakan keranjang melebihi 60%, atau jika terjadi kehilangan unit akibat tidak adanya sistem pelacakan.

Pertimbangan Sosial dan Strategi Alih Fungsi

Meskipun sistem smart trolley menawarkan efisiensi biaya dan peningkatan modernisasi layanan, penerapannya dapat berdampak pada berkurangnya kebutuhan tenaga kerja manual, seperti petugas pengatur troli. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendekatan

transisi yang bijak, seperti program alih fungsi karyawan menjadi teknisi pemeliharaan, operator sistem, atau petugas layanan pelanggan. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi teknologi dan tanggung jawab sosial perusahaan terhadap tenaga kerja.

Menurut (Damayanti Simanjuntak et al. n.d.), meskipun investasi awal sistem IoT lebih tinggi dibanding metode manual, potensi efisiensi biaya dalam jangka panjang dapat menutupi awal tersebut.

Strategi Efisiensi dan Keberlanjutan Sistem

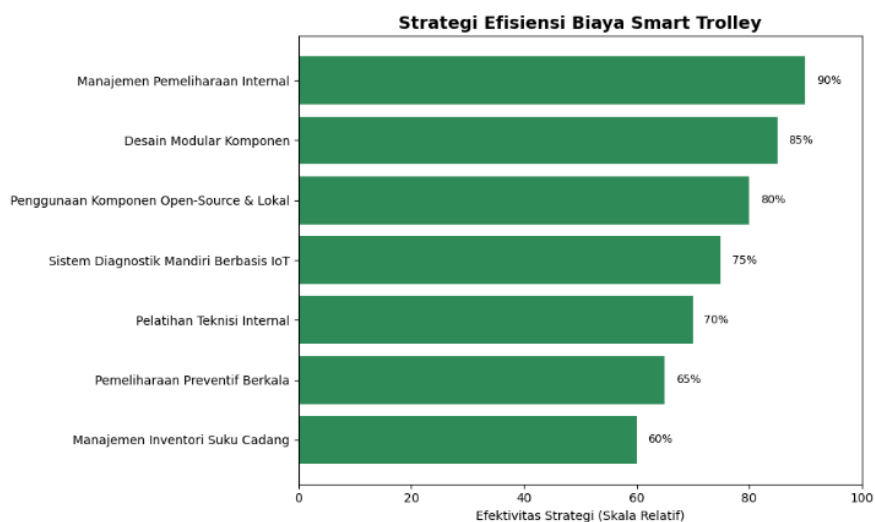
Optimalisasi Pemeliharaan

Untuk menekan biaya operasional pemeliharaan dapat dioptimalkan melalui strategi berikut :

Tabel 5. Strategi Pemeliharaan dan Efisiensi Sistem *Smart Trolley*.

Strategi	Penjelasan
Penerapan Desain Modular Komponen	Komponen utama sistem seperti motor, sensor, dan mikrokontroler disusun secara modular agar mudah diganti jika mengalami kerusakan. Pendekatan ini mengurangi biaya perbaikan karena tidak perlu mengganti keseluruhan unit trolly.
Penggunaan Komponen Open-Source dan Lokal	Menggunakan komponen yang bersifat open-source seperti ESP32 atau Raspberry Pi, serta memanfaatkan suku cadang lokal, akan mengurangi ketergantungan pada perangkat bermerek atau impor yang lebih mahal.
Sistem Mandiri Berbasis IoT	Menambahkan fitur pemantauan kondisi komponen secara real-time melalui dashboard berbasis IoT dapat membantu teknisi dalam melakukan deteksi dini terhadap gangguan sistem. Hal ini memungkinkan perawatan prediktif sebelum terjadi kerusakan besar.
Pelatihan Berkelanjutan untuk Tim Teknisi Internal	Pelatihan rutin terhadap teknisi internal akan meningkatkan kemampuan troubleshooting dan efisiensi kerja tim, sehingga mengurangi waktu downtime sistem dan mempercepat proses perbaikan.
Penjadwalan Pemeliharaan Preventif Berkala	Menyusun jadwal perawatan yang teratur berdasarkan jam operasi trolly atau masa pakai komponen tertentu akan membantu mempertahankan performa sistem dan mencegah kerusakan mendadak.
Manajemen Cadang dan Inventori Efisien	Menyediakan stok komponen penting seperti sensor garis, baterai, dan motor dalam jumlah minimum namun cukup akan membantu mempercepat proses perbaikan sekaligus menghindari pemborosan anggaran.

Dengan menggabungkan pendekatan teknis dan manajerial di atas, sistem smart trolley tidak hanya akan menjadi solusi modern yang efisien, tetapi juga dapat dipelihara secara berkelanjutan dengan biaya yang terkendali. Pendekatan ini juga mendukung penciptaan lapangan kerja baru di bidang teknologi dan mendorong kemandirian pengelolaan sistem ditingkat internal supermarket.



Gambar 6. Strategi Efisiensi Biaya *Smart Trolley*.

Jadwal Pemeliharaan Rutin

Berikut ini merupakan jadwal pemeliharaan sistem sebagai bagian dari SOP teknisi:

Tabel 6. Jadwal Pemeliharaan Rutin Sistem *Smart Trolley*.

Kegiatan	Frekuensi	Penanggung Jawab	Catatan
Pembersihan permukaan troli dan sensor	Mingguan	Teknisi 1	Bersihkan sensor garis dan sensor ultrasonik
Pengecekan koneksi kabel dan soldering	Mingguan	Teknisi 1	Pastikan tidak ada kabel longgar atau lepas
Pengisian dan uji performa baterai	Mingguan	Teknisi 2	Cek kapasitas baterai, ganti jika <70%
Kalibrasi ulang sensor garis/kamera	Bulanan	Teknisi 2	Sesuaikan sensitivitas terhadap garis lantai
Pembaruan firmware ESP32 / Raspberry Pi	Bulanan	Teknisi 1 & Teknisi 2	Lakukan hanya jika ada pembaruan stabil
Simulasi navigasi otomatis (uji jalan)	Bulanan	Teknisi 2	Jalankan troli sepanjang jalur untuk validasi
Pemeriksaan status motor & gearbox	Bulanan	Teknisi 1	Deteksi suara tidak normal / keausan
Laporan status & log pemakaian	Bulanan	Teknisi 1	Disusun dan dilaporkan ke manajer operasional

Pemanfaatan Tren Sosial Media

Penerapan *smart trolley* memiliki potensi menjadi daya tarik tersendiri di era digital. Publikasi konten menarik di media sosial dapat memicu ketertarikan publik, memperluas eksposur, dan meningkatkan kunjungan ke supermarket. Strategi ini dapat menekan biaya promosi melalui efek viral tanpa pengeluaran besar untuk iklan konvensional.

Efisiensi Melalui Kerja Sama dan Simplifikasi

Penghematan dapat dicapai hingga 30–40% melalui beberapa strategi, seperti simplifikasi arsitektur sistem, misalnya dengan menggunakan ESP32 tanpa perlu tambahan

Raspberry Pi. Selain itu, pembelian komponen dalam jumlah besar dapat menekan harga satuan, serta kemitraan dengan vendor atau institusi pendidikan juga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan bersama yang lebih efisien.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini membahas tahap perancangan awal sistem Smart Trolley berbasis Internet of Things (IoT) yang ditujukan untuk mengatasi permasalahan pengembalian troli secara manual di area supermarket. Rancangan ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, Arduino UNO, Raspberry Pi, sensor garis, sensor ultrasonik, serta navigasi otomatis, yang memungkinkan troli kembali ke titik parkir secara mandiri tanpa keterlibatan pengguna. Meskipun masih berada pada tahap konseptual, hasil analisis kebutuhan sistem, pemetaan komponen, serta estimasi biaya menunjukkan bahwa sistem ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan troli dan mengurangi beban kerja tenaga manusia. Biaya investasi awal yang relatif tinggi diproyeksikan dapat dikompensasi oleh penghematan operasional jangka panjang, khususnya dalam hal pengurangan kehilangan troli dan efisiensi waktu karyawan. Penelitian ini juga merekomendasikan strategi pemeliharaan berkelanjutan melalui pendekatan desain modular, penggunaan komponen open-source, pelatihan teknisi internal, dan pemanfaatan sistem pemantauan kondisi troli secara real-time berbasis IoT. Hal ini selaras dengan tujuan pembangunan sistem ritel cerdas yang adaptif terhadap era Society 5.0, yang menekankan efisiensi, konektivitas, dan keberlanjutan. Namun demikian, validasi lebih lanjut melalui pengembangan prototipe fisik dan pengujian lapangan diperlukan untuk menilai keandalan sistem secara empiris dalam lingkungan operasional nyata (Wan Jusoh et al., 2024; Kasman & Judijanto, 2024). Penelitian ini membuka jalur bagi studi lanjutan dalam pengembangan sistem smart retail, kendaraan otonom, dan manajemen fasilitas berbasis IoT di masa depan.

DAFTAR REFERENSI

- Adeyanto, Z., Izzuddin, A., & Hikmah, N. (2020). Rancang bangun robot vacuum cleaner dengan menerapkan propositional logic untuk pengaturan navigasi. *Jurnal Mnemonic*, 3(2), 15–20. <https://doi.org/10.36040/mnemonic.v3i2.2800>
- Anjani, I. A. S. S., Jasa, L., & Agung, I. G. A. R. (2020). Rancang bangun sistem minimarket otomatis berbasis IoT. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(2), 255–262. <https://doi.org/10.24843/MITE.2020.v19i02.P19>
- Ardi, A., Triyono, A., & Santosa, T. A. (2024). The influence of the Internet of Things in education: Meta-analysis. 59–65.

- Bello-Salau, H., Onumanyi, A. J., Michael, D., Isa, R., Alenoghena, C. O., & Ohize, H. (2021). A new automated smart cart system for modern shopping centres. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(4), 2028–2036. <https://doi.org/10.11591/EEI.V10I4.2762>
- Damayanti Simanjuntak, I., Sihotang, M. K., Marisa, M., Hafizhah, A., Marbun, M. I., & Aginta, G. (n.d.). Aspek teknis dan teknologi dalam studi kelayakan bisnis (Vol. 1).
- Frano, F., Sekolah Savsavubun, Seminari Pineleng, & Ohoiwutun, B. (2023). Seri mitra refleksi ilmiah-pastoral revolusi industri 4.0 menurut Klaus Schwab: Dampak dan tantangannya bagi kehidupan manusia dewasa ini (Vol. 2).
- Gonzalez, T., De la Rubia, M. A., Hincz, K. P., Comas-Lopez, M., Subirats, L., Fort, S., & Sacha, G. M. (2020). Influence of COVID-19 confinement on students' performance in higher education. *PLoS ONE*, 15(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239490>
- Hanafi, M., & Almasri. (2024). Design and implementation of an Arduino-based Bluetooth-controlled shopping trolley with ultrasonic sensor integration. *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, 2(3), 320–337. <https://doi.org/10.58536/j-hytel.v2i3.148>
- Hartanto, M. B., Putra, A. S., Fawa, T. M., & Fawaati, T. M. (2024). Analisis dampak implementasi Internet of Things (IoT) terhadap efisiensi operasional di industri manufaktur (Vol. 5).
- Kasman, R. A., & Judijanto, L. (2024). Artificial intelligence in the classroom: Innovation or disruption in education (Vol. 4).
- Nurhakim, L. (2025). Transforming children's education with technology: The role of AI, IoT, and gamification in learning (Vol. 3).
- Ofer, D., Kaufman, H., & Linial, M. (2024). What's next? Forecasting scientific research trends. *Heliyon*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23781>
- Pengetahuan, J. I., Putri, A. C., Nasihin, M., & [Penulis Korenspondensi]. (2025). Peran Internet of Things (IoT) dalam mengoptimalkan rantai pasok e-commerce: Systematic Literature Review. *SCIENCE TECH*. <https://doi.org/10.30738/st>
- Raath, N., & Hughes, D. J. (2025). The environmental impact of collecting and processing abandoned shopping trolleys in the UK. *Sustainability*, 17(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su17062692>
- Rasyid, R. E., Aisa, S., & Rizal, A. (2024). Global trends and contributions of Internet of Things (IoT) research in education: A bibliometric analysis. *Mimbar Ilmu*, 29(3), 500–506. <https://doi.org/10.23887/mi.v29i3.89589>
- Swetha, K. B., Abhishek, G., Ruthvik, T., Meghana, B. N., & Naresh, N. R. G. (2021). Design and implementation of IoT-based smart shopping dash cart. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences* (July 2021), 5–14. <https://doi.org/10.46647/ijetms.2021.v05i04.002>
- Tubis, A. A., & Rohman, J. (2023). Intelligent warehouse in Industry 4.0—Systematic literature review. *Sensors*, 23(8).
- Venkata Sai Prasad, K., Karthik, K., Charan Kumar, O., Prathiksha, B. S., & Salimath, K. (2023). Smart shopping trolley with automated billing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1295(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1295/1/012008>

- Wan Jusoh, W. N. A. S., Abdul Jobar, N., & Md Yusoff, M. Z. N. (2024). Research trends and patterns of language education in writing (2014–2023): A bibliometric analysis. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 13(1). <https://doi.org/10.6007/ijarped/v13-i1/20483>
- Yusuf, F. A. (2025). Trends, opportunities, and challenges of artificial intelligence in elementary education: A systematic literature review. *Journal of Integrated Elementary Education*, 5(1), 109–127. <https://doi.org/10.21580/jieed.v5i1.25594>
- Zulfiani, Z., Suwarna, I. P., El Islami, R. A. Z., & Sari, I. J. (2025). Trends in SAMR research in teaching and learning from 2019 to 2024: A systematic review. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 12(4), 99–106. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2025.04.012>