

Sistem Manajemen Gudang Berbasis RFID untuk Meningkatkan Akurasi Inventaris dan Efisiensi Operasional

(RFID-Based Warehouse Management System for Improving Inventory Accuracy and Operational Efficiency)

Ekka Pujo Ariesanto Akhmad¹, Carlos L. Prawirosastro²

**^{1,2} Program Studi Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim,
Fakultas Vokasi Pelayaran, Universitas Hang Tuah**

Abstrak: Operasi pergudangan semakin dituntut untuk memberikan tingkat akurasi, kecepatan, dan visibilitas waktu nyata yang tinggi sebagai respons terhadap kompleksitas rantai pasokan yang semakin meningkat dan harapan pelanggan. Namun, sistem manajemen gudang berbasis barcode konvensional masih terbatas oleh pemindaian garis pandang, pengambilan data berurutan, dan ketergantungan yang tinggi pada intervensi manual, yang seringkali menyebabkan ketidakakuratan inventaris dan inefisiensi operasional. Studi ini menyelidiki implementasi teknologi Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) yang terintegrasi dengan Sistem Manajemen Gudang (WMS) untuk meningkatkan akurasi inventaris dan kinerja operasional di lingkungan gudang. Dengan menggunakan desain penelitian eksperimental berbasis kasus, studi ini membandingkan kinerja gudang sebelum dan setelah implementasi RFID di seluruh proses utama, termasuk penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman. Data operasional dikumpulkan melalui studi waktu, audit inventaris, dan pelacakan kesalahan dalam kondisi beban kerja yang sebanding. Hasilnya menunjukkan bahwa integrasi RFID secara signifikan meningkatkan akurasi inventaris secara keseluruhan, mengurangi waktu pemrosesan lebih dari setengahnya, dan menurunkan tingkat kesalahan operasional sekitar delapan puluh persen dibandingkan dengan sistem berbasis barcode konvensional. Peningkatan ini terutama didorong oleh pengambilan data otomatis, tanpa garis pandang, dan simultan yang dimungkinkan oleh RFID, yang meminimalkan intervensi manusia dan memastikan sinkronisasi waktu nyata antara pergerakan barang fisik dan catatan inventaris digital. Penelitian ini memberikan bukti empiris tingkat sistem tentang dampak kinerja pergudangan yang didukung RFID dan mengusulkan kerangka kerja implementasi RFID-WMS terintegrasi yang mendukung operasi gudang ujung-ke-ujung. Temuan ini memberikan wawasan teoritis dan panduan praktis bagi organisasi yang ingin mengadopsi RFID sebagai dasar transformasi gudang cerdas.

Kata kunci: RFID, sistem manajemen gudang, gudang pintar, akurasi inventaris, teknologi logistik

Abstract: Warehouse operations are increasingly required to deliver high levels of accuracy, speed, and real-time visibility in response to growing supply chain complexity and customer expectations. However, conventional barcode-based warehouse management systems remain constrained by line-of-sight scanning, sequential data capture, and heavy reliance on manual intervention, which often lead to inventory inaccuracies and operational inefficiencies. This study investigates the implementation of Radio Frequency Identification (RFID) technology integrated with a Warehouse Management System (WMS) to enhance inventory accuracy and operational performance in warehouse environments. Using a case-based experimental research design, the study compares warehouse performance before and after RFID implementation across key processes, including receiving, storage, picking, and shipping. Operational data were collected through time studies, inventory audits, and error tracking under comparable workload conditions. The results demonstrate that RFID integration significantly improves overall inventory accuracy, reduces processing time by more than half, and decreases operational error rates by approximately eighty percent compared to a conventional barcode-based system. These improvements are primarily driven by automatic, non-line-of-sight, and simultaneous data capture enabled by RFID, which minimizes human intervention and ensures real-time synchronization between physical goods movement and digital inventory records. This research contributes empirical system-level evidence on the performance impact of RFID-enabled warehousing and proposes an integrated RFID-WMS implementation framework that supports end-to-end warehouse operations. The findings provide both theoretical insights and practical guidance for organizations seeking to adopt RFID as a foundation for smart warehouse transformation.

Keywords: RFID, Warehouse Management System, Smart Warehouse, Inventory Accuracy, Logistics Technology

Alamat Korespondensi:

Ekka Pujo A. A., Prodi Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim, Fakultas Vokasi Pelayaran, Universitas Hang Tuah, Jalan A.R. Hakim 150, Surabaya. e-mail: eka.pujo@hangtuah.ac.id

PENDAHULUAN

Pergudangan merupakan tulang punggung penting dari manajemen rantai pasokan modern, berfungsi sebagai simpul utama untuk menerima, menyimpan, menangani, dan mendistribusikan barang kepada pelanggan hilir. Seiring dengan semakin kompleks dan tersebarinya rantai pasokan global secara geografis, operasi pergudangan diharapkan dapat mendukung volume transaksi yang lebih tinggi, waktu tunggu yang lebih singkat, dan persyaratan layanan yang lebih disesuaikan. Pada saat yang sama, pelanggan menuntut transparansi yang lebih besar, status pesanan secara real-time, dan kinerja pengiriman yang andal. Perkembangan ini memberikan tekanan signifikan pada gudang untuk beroperasi dengan kecepatan, akurasi, dan keandalan operasional yang tinggi.

Secara tradisional, operasi gudang mengandalkan penanganan manual yang didukung oleh sistem identifikasi berbasis barcode (Istiqomah et al., 2020). Teknologi barcode telah diadopsi secara luas karena biayanya yang rendah, kesederhanaannya, dan kompatibilitasnya dengan Sistem Manajemen Gudang (WMS) (Richards, 2017; Bartholdi & Hackman, 2019). WMS berbasis barcode memungkinkan organisasi untuk mencatat transaksi, mengidentifikasi lokasi penyimpanan, dan mendukung proses pengendalian inventaris dasar. Dibandingkan dengan operasi manual sepenuhnya, sistem barcode meningkatkan akurasi data dan visibilitas proses. Namun, sistem berbasis barcode secara inheren dibatasi oleh persyaratan garis pandang, pemindaian berurutan, dan ketergantungan yang kuat pada intervensi manusia. Di lingkungan gudang dengan volume tinggi dan serba cepat, keterbatasan ini sering menyebabkan kesalahan pemindaian, transaksi yang terlewat, pembaruan data

yang tertunda, dan peningkatan upaya tenaga kerja.

Salah satu tantangan paling gigih dalam operasi gudang adalah ketidakakuratan inventaris. Akurasi inventaris mengacu pada tingkat konsistensi antara data inventaris yang tercatat dalam sistem dan stok fisik aktual yang tersedia di gudang. Data inventaris yang tidak akurat dapat menyebabkan kekurangan stok, kelebihan inventaris, keputusan pengisian ulang yang tidak efisien, dan gangguan pada pemenuhan pesanan. Bahkan perbedaan kecil pun dapat menyebar ke seluruh rantai pasokan, memengaruhi perencanaan produksi, penjadwalan transportasi, dan kinerja layanan pelanggan. Dalam lingkungan berbasis barcode, ketidakakuratan inventaris umumnya muncul dari kesalahan manusia selama aktivitas penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman, terutama ketika karyawan beroperasi di bawah tekanan waktu atau menangani volume barang yang besar.

Untuk mengatasi keterbatasan ini, Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) (Li, M., et al., 2011) telah muncul sebagai teknologi pendukung yang menjanjikan untuk pergudangan dan logistik cerdas. RFID adalah teknologi identifikasi dan pengambilan data otomatis yang menggunakan gelombang radio untuk mengirimkan informasi antara tag yang terpasang pada objek dan perangkat pembaca. Tidak seperti sistem barcode, RFID tidak memerlukan garis pandang langsung dan memungkinkan beberapa tag dibaca secara bersamaan. Karakteristik ini memungkinkan pengumpulan data yang lebih cepat, mengurangi ketergantungan pada pemindaian manual, dan visibilitas pergerakan barang secara hampir real-time di lingkungan gudang. Akibatnya, RFID telah banyak dibahas dalam literatur logistik dan rantai pasokan

sebagai teknologi kunci untuk meningkatkan akurasi inventaris, efisiensi operasional, dan integrasi informasi.

Terlepas dari keunggulan teknologinya, adopsi RFID dalam operasi gudang masih belum merata. Banyak organisasi terus mengandalkan sistem berbasis barcode karena kekhawatiran terkait biaya implementasi, kompleksitas sistem, dan ketidakpastian mengenai manfaat kinerja yang nyata. Selain itu, implementasi RFID yang dilaporkan dalam studi sebelumnya seringkali terbatas pada proyek percontohan atau tahapan operasional tertentu, seperti pelacakan palet atau verifikasi pengiriman keluar. Adopsi yang terfragmentasi tersebut membatasi potensi manfaat RFID dan tidak sepenuhnya menunjukkan dampaknya pada kinerja gudang secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan studi empiris yang lebih komprehensif yang meneliti implementasi RFID di seluruh alur kerja gudang yang terintegrasi.

Tinjauan kritis terhadap literatur yang ada mengungkapkan beberapa kesenjangan penelitian penting. Pertama, banyak studi berfokus pada manfaat konseptual RFID, seperti peningkatan visibilitas dan otomatisasi, tanpa memberikan kerangka kerja implementasi terperinci yang mengintegrasikan RFID di seluruh proses gudang. Hal ini membatasi penerapan praktis temuan penelitian dan membuat para praktisi tidak memiliki panduan yang jelas tentang bagaimana RFID dapat secara sistematis diintegrasikan ke dalam Sistem Manajemen Gudang. Kedua, penelitian empiris tentang manajemen gudang berbasis RFID di negara berkembang masih terbatas. Studi sebelumnya dalam konteks ini sebagian besar menekankan WMS berbasis barcode dan peningkatan proses

manual, sehingga meninggalkan kesenjangan dalam memahami dampak kinerja adopsi RFID dalam kondisi operasional yang terbatas sumber daya dan sangat bervariasi. Ketiga, studi RFID yang ada sering menganalisis proses gudang secara terpisah daripada sebagai sistem yang saling terhubung, meskipun kinerja gudang secara inheren dipengaruhi oleh interaksi antara aktivitas penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman.

Kesenjangan ini menyoroti masalah penelitian mendasar. Terlepas dari kemajuan dalam sistem informasi gudang, banyak gudang terus mengalami akurasi inventaris yang rendah, proses pengumpulan data yang tidak efisien, dan visibilitas waktu nyata yang terbatas terhadap pergerakan barang. Sistem identifikasi berbasis barcode, meskipun bermanfaat, semakin tidak memadai untuk memenuhi tuntutan operasi gudang modern dengan volume tinggi. Masalah utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana teknologi RFID dapat diimplementasikan dan diintegrasikan secara efektif dengan Sistem Manajemen Gudang untuk mengatasi ketidakakuratan inventaris dan inefisiensi operasional di lingkungan gudang.

Berdasarkan konteks permasalahan ini, studi ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan penelitian. Pertama, bagaimana teknologi RFID dapat diintegrasikan secara sistematis ke dalam Sistem Manajemen Gudang di seluruh proses gudang utama, termasuk penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman? Kedua, apa dampak implementasi RFID terhadap akurasi inventaris dan waktu pemrosesan dalam operasi gudang? Ketiga, bagaimana kinerja operasional sistem gudang berbasis RFID dibandingkan dengan sistem berbasis barcode konvensional?

Sejalan dengan pertanyaan penelitian tersebut, tujuan studi ini ada tiga. Tujuan pertama adalah merancang kerangka kerja manajemen gudang berbasis RFID yang mendukung operasi gudang ujung-ke-ujung. Tujuan kedua adalah menganalisis dampak implementasi RFID terhadap efisiensi operasional, dengan penekanan khusus pada pengurangan waktu pemrosesan dan minimalisasi kesalahan. Tujuan ketiga adalah mengevaluasi efektivitas teknologi RFID dalam meningkatkan akurasi inventaris dibandingkan dengan sistem berbasis barcode tradisional (Gülç, 2020).

Keunikan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi dan empirisnya terhadap implementasi RFID dalam operasi gudang. Berbeda dengan studi sebelumnya yang berfokus pada proses terisolasi atau diskusi konseptual, studi ini mengusulkan dan mengevaluasi model integrasi RFID–WMS yang mencakup semua aktivitas gudang utama (Kgobe & Ozor, 2021). Lebih lanjut, penelitian ini memberikan pengukuran kinerja empiris yang berasal dari proses operasional nyata, memungkinkan perbandingan langsung antara sistem berbasis RFID dan berbasis barcode. Dengan menggabungkan analisis tingkat sistem dengan evaluasi kinerja praktis, studi ini memberikan wawasan baru tentang peran RFID sebagai teknologi dasar untuk transformasi gudang cerdas.

Sistem Manajemen Gudang dan Kinerja Operasional

Sistem Manajemen Gudang (WMS) (Richards, 2017; Bartholdi & Hackman, 2019) secara luas diakui sebagai infrastruktur informasi inti untuk operasi gudang modern. WMS mendukung perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian aktivitas gudang seperti penerimaan, penempatan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa adopsi WMS

secara signifikan meningkatkan visibilitas inventaris, akurasi pesanan, dan produktivitas tenaga kerja dibandingkan dengan operasi gudang manual. Namun, efektivitas WMS sangat bergantung pada akurasi dan ketepatan waktu data yang diambil dari aktivitas gudang fisik.

Beberapa studi menekankan bahwa pengumpulan data tetap menjadi hambatan kritis dalam operasi gudang. Entri data manual dan pemindaian berbasis barcode masih menjadi praktik dominan di banyak gudang, terutama di negara berkembang. Meskipun sistem barcode meningkatkan kemampuan pelacakan dibandingkan dengan metode berbasis kertas, sistem ini memerlukan pemindaian langsung dan pemrosesan berurutan. Akibatnya, implementasi WMS berbasis barcode rentan terhadap kesalahan manusia, kelalaian pemindaian, dan keterlambatan dalam memperbarui catatan inventaris, terutama di lingkungan dengan volume tinggi.

Istiqomah, dkk. (2020) menunjukkan bahwa WMS berbasis barcode meningkatkan efisiensi gudang dengan mengurangi kesalahan penanganan manual dan menyediakan pembaruan inventaris secara real-time. Namun, temuan mereka juga menunjukkan keterbatasan terkait skalabilitas dan kecepatan pengambilan data, terutama ketika volume transaksi meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun WMS berbasis barcode merupakan peningkatan signifikan dibandingkan sistem manual, sistem ini mungkin tidak sepenuhnya mendukung persyaratan kinerja gudang modern yang bergerak cepat.

Teknologi RFID dalam Logistik dan Pergudangan

Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) (Li, M., et al., 2011; Heizer, et al., 2020) telah banyak dipelajari sebagai teknologi pendukung untuk logistik dan manajemen rantai pasokan.

Sistem RFID terdiri dari tag, pembaca, middleware, dan sistem informasi backend yang secara kolektif memungkinkan identifikasi dan pelacakan objek secara otomatis menggunakan gelombang radio. Salah satu keunggulan utama RFID adalah kemampuannya untuk menangkap data tanpa garis pandang langsung dan membaca banyak tag secara bersamaan, sehingga mengurangi ketergantungan pada intervensi manusia.

Menurut RFID in Logistics: A Practical Introduction, RFID memungkinkan pengambilan data secara terus menerus dan otomatis di seluruh proses logistik, termasuk pergudangan, transportasi, dan distribusi. Teknologi ini telah terbukti meningkatkan akurasi inventaris, mengurangi biaya tenaga kerja, dan meningkatkan visibilitas proses (Gülç, 2021). Di lingkungan gudang, RFID dapat diterapkan untuk verifikasi penerimaan, pelacakan lokasi, validasi pengambilan, dan konfirmasi pengiriman, sehingga mendukung integrasi proses ujung ke ujung.

Terlepas dari keunggulan-keunggulan ini, adopsi RFID berjalan lebih lambat dari yang diperkirakan sebelumnya. Studi awal menyoroti tantangan teknis seperti interferensi sinyal, masalah keterbacaan tag di dekat produk logam atau cair, dan kebutuhan akan infrastruktur TI yang kuat untuk menangani volume data real-time yang besar. Selain itu, pertimbangan biaya terkait tag RFID, pembaca, dan integrasi sistem telah diidentifikasi sebagai hambatan untuk adopsi yang meluas, terutama untuk gudang kecil dan menengah.

Perbandingan Antara Sistem Barcode dan RFID

Sejumlah besar literatur membandingkan teknologi barcode dan RFID dalam konteks logistik dan pergudangan. Sistem barcode dipuji

karena biayanya yang rendah, kesederhanaannya, dan kematangannya, sementara sistem RFID dikenal karena kemampuan pengambilan datanya yang lebih unggul. Perbedaan utama terletak pada cara operasinya: sistem barcode memerlukan pemindaian manual, dengan garis pandang langsung, terhadap setiap item, sedangkan sistem RFID mendukung identifikasi otomatis dan simultan terhadap banyak item.

Studi empiris secara konsisten menunjukkan bahwa RFID mengungguli sistem barcode dalam hal kecepatan pemrosesan dan akurasi data. Novitasari dan Anwar (2022) menunjukkan bahwa implementasi RFID dalam operasi logistik secara signifikan mengurangi waktu pemrosesan melalui pembacaan beberapa tag dan mekanisme anti-tabrakan. Studi mereka menyoroti bahwa RFID sangat cocok untuk lingkungan bervolume tinggi di mana pemindaian barcode berurutan menjadi hambatan.

Namun, beberapa studi berpendapat bahwa manfaat kinerja RFID bergantung pada konteks. Di gudang dengan volume atau kompleksitas rendah, peningkatan kinerja marginal yang ditawarkan oleh RFID mungkin tidak membenarkan investasi tambahan. Temuan ini menunjukkan bahwa keputusan adopsi RFID harus mempertimbangkan karakteristik operasional, volume transaksi, dan kesiapan integrasi.

Integrasi RFID dengan Sistem Manajemen Gudang

Literatur terkini menekankan bahwa nilai sebenarnya dari RFID muncul ketika sepenuhnya terintegrasi dengan Sistem Manajemen Gudang (Warehouse Management Systems/WMS) daripada diimplementasikan sebagai alat identifikasi mandiri. Integrasi RFID–

WMS memungkinkan sinkronisasi waktu nyata antara pergerakan barang fisik dan catatan inventaris digital. Integrasi ini mendukung pencatatan transaksi otomatis, penanganan pengecualian, dan pemantauan kinerja.

Beberapa studi melaporkan bahwa implementasi RFID parsial, seperti hanya memberi label pada palet atau hanya menggunakan RFID di titik pemeriksaan keluar, membatasi dampak kinerja secara keseluruhan. Tanpa integrasi penuh di seluruh proses penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman, silo data tetap ada dan inefisiensi proses tetap terjadi. Hal ini menyoroti pentingnya integrasi tingkat sistem dan perancangan ulang proses dalam transformasi gudang berbasis RFID.

Selain itu, literatur menunjukkan bahwa integrasi RFID–WMS meningkatkan pengambilan keputusan dengan menyediakan data yang akurat dan tepat waktu untuk perencanaan inventaris, pengisian ulang, dan pemenuhan pesanan. Namun, studi empiris yang mengevaluasi integrasi RFID–WMS di seluruh alur kerja gudang ujung-ke-ujung masih terbatas, terutama dalam konteks negara berkembang.

Sintesis Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan tinjauan literatur, beberapa kesenjangan penelitian dapat diidentifikasi. Pertama, meskipun manfaat RFID banyak dibahas, masih kurang kerangka kerja implementasi komprehensif yang mengintegrasikan RFID di seluruh proses gudang dalam lingkungan WMS. Kedua, bukti empiris tentang dampak kinerja operasional

pergudangan berbasis RFID di negara berkembang masih langka. Ketiga, banyak penelitian berfokus pada aktivitas gudang yang terisolasi daripada mengevaluasi peningkatan kinerja sistem secara keseluruhan.

Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang secara empiris mengevaluasi implementasi RFID sebagai solusi manajemen gudang terintegrasi dan membandingkan kinerjanya dengan sistem berbasis barcode tradisional. Mengatasi kesenjangan ini sangat penting untuk memajukan pemahaman teoritis dan adopsi praktis RFID dalam operasi gudang.

RFID telah banyak dibahas sebagai teknologi pendukung untuk logistik dan pergudangan cerdas. Menurut *RFID in Logistics: A Practical Introduction*, RFID memungkinkan identifikasi dan pelacakan barang secara otomatis tanpa kontak fisik, sehingga memungkinkan pengambilan data secara real-time di seluruh operasi gudang.

Sebaliknya, sistem berbasis barcode memerlukan pemindaian langsung dan intervensi manual, yang meningkatkan kemungkinan kesalahan manusia dan penundaan pemrosesan. Istiqomah dkk. (2020) menunjukkan bahwa WMS berbasis barcode meningkatkan efisiensi gudang dibandingkan dengan penanganan manual, namun masih terdapat keterbatasan dalam skalabilitas dan pengambilan data secara real-time.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Penulis	Tahun	Konteks	Metode	Temuan Utama	Kesenjangan yang Teridentifikasi
RFID dalam Logistik: Pengantar Praktis	Tahun 2007	Logistik & Pergudangan	Contoh Konseptual & Kasus	RFID meningkatkan visibilitas dan otomatisasi.	Kurangnya evaluasi empiris menyeluruh.
Istiqomah dkk.	Tahun 2020	Gudang (Indonesia)	Studi Kasus Kualitatif	Sistem manajemen gudang (WMS) berbasis barcode meningkatkan efisiensi.	RFID tidak diperiksa
Novitasari & Anwar	Tahun 2022	Operasi Logistik	Eksperimental	RFID secara signifikan mengurangi waktu pemrosesan.	Berfokus pada logistik, bukan gudang secara keseluruhan.
Chanchaichujit dkk.	Tahun 2020	Rantai Pasokan	Tinjauan Sistematis	RFID meningkatkan keunggulan kompetitif.	Metrik operasional terbatas
Kurniawan	Tahun 2017	Biaya Logistik	Studi Kasus	RFID mengurangi biaya logistik	Analisis proses parsial
Todorovic dkk.	Tahun 2014	Pelacakan & Pemantauan	Eksperimental	RFID meningkatkan kemampuan pelacakan.	Tidak terintegrasi dengan WMS
Zhang dkk.	Tahun 2012	Sistem Logistik	Tinjauan	RFID meningkatkan integrasi data	Kurang fokus khusus pada gudang.

Penelitian terbaru oleh Novitasari dan Anwar (2022) menunjukkan bahwa RFID secara signifikan mengurangi waktu pemrosesan dalam operasi logistik melalui pembacaan beberapa tag dan algoritma anti-tabrakan, menyoroti kesesuaiannya untuk lingkungan bervolume tinggi seperti gudang.

Sistem Manajemen Gudang (WMS)

Sistem Manajemen Gudang (Warehouse Management System/WMS) adalah sistem informasi yang dirancang untuk mengontrol dan mengoptimalkan aktivitas gudang, termasuk penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman (McFarlane, et al., 2016). WMS

memastikan pencatatan inventaris yang akurat dan pemanfaatan sumber daya yang efisien (Khan, et al., 2020).

Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) (Li, M., et al., 2011)

RFID adalah teknologi identifikasi otomatis yang menggunakan gelombang radio untuk mentransfer data antara tag dan pembaca. Tag RFID dapat dibaca tanpa garis pandang langsung dan dapat dipindai secara bersamaan, menawarkan keunggulan dibandingkan sistem kode batang (Zhou, et al., 2019).

Teori Akurasi Inventaris

Akurasi inventaris mengacu pada tingkat konsistensi antara data inventaris yang tercatat dan stok fisik.

Akurasi inventaris yang tinggi sangat penting untuk pengambilan keputusan yang efektif dan kepuasan pelanggan.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Studi ini mengadopsi desain penelitian eksperimental berbasis kasus untuk mengevaluasi dampak teknologi Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) (Li, M., et al., 2011) terhadap kinerja operasional gudang. Desain penelitian ini menggabungkan implementasi sistem dan analisis kinerja komparatif untuk menguji perbedaan antara sistem manajemen gudang berbasis barcode konvensional dan sistem manajemen gudang yang menggunakan RFID. Pendekatan ini tepat karena tujuan studi ini bukan hanya untuk mengusulkan kerangka kerja konseptual, tetapi juga untuk secara empiris menilai efek operasional adopsi RFID di lingkungan gudang nyata.

Desain eksperimental ini mengikuti perbandingan sebelum dan sesudah dalam pengaturan gudang yang sama. Pada kondisi dasar, operasi gudang dijalankan menggunakan Sistem Manajemen Gudang (WMS) berbasis barcode. Pada kondisi eksperimental, teknologi RFID diintegrasikan ke dalam WMS yang ada, sementara parameter operasional lainnya tetap tidak berubah. Desain ini meminimalkan variabilitas eksternal dan memungkinkan perbedaan kinerja yang diamati terutama disebabkan oleh pengenalan teknologi RFID.

Objek Penelitian dan Deskripsi Kasus

Objek penelitian ini adalah gudang distribusi yang menangani barang tingkat palet dan tingkat peti untuk distribusi hilir. Gudang tersebut melakukan aktivitas pergudangan standar, termasuk penerimaan, penempatan, penyimpanan, pengambilan pesanan, pengemasan, dan

pengiriman. Gudang yang dipilih beroperasi di bawah volume transaksi yang tinggi dan persyaratan layanan yang sensitif terhadap waktu, sehingga cocok untuk mengevaluasi dampak kinerja teknologi identifikasi otomatis (Arabelen & Kaya, 2021).

Tata letak gudang terdiri dari dermaga masuk, rak penyimpanan, zona pengambilan, area penyiapan, dan dermaga keluar. Sebelum implementasi RFID, semua transaksi inventaris dicatat menggunakan label barcode dan pemindai barcode genggam yang terhubung ke WMS terpusat. Staf gudang diharuskan memindai barcode secara manual di setiap langkah proses, termasuk verifikasi penerimaan, konfirmasi lokasi, validasi pengambilan, dan konfirmasi pengiriman.

Arsitektur dan Komponen Sistem RFID

Sistem RFID yang diimplementasikan dalam penelitian ini terdiri dari empat komponen utama: tag RFID, pembaca RFID, middleware, dan Sistem Manajemen Gudang.

Tag RFID

Dalam penelitian ini digunakan tag RFID Ultra High Frequency (UHF) pasif yang beroperasi pada rentang frekuensi 860–960 MHz. Tag RFID UHF dipilih karena jangkauan bacanya yang relatif panjang dan kesesuaiannya untuk pembacaan massal di lingkungan gudang. Tag ditempelkan pada palet dan karton tergantung pada unit penanganannya. Setiap tag menyimpan pengidentifikasi unik yang terhubung dengan informasi item dalam basis data WMS (Jintana, et al., 2021).

Pembaca RFID

Pembaca RFID tetap dipasang di titik kontrol penting, termasuk gerbang penerimaan barang masuk, pintu masuk zona penyimpanan, dan dermaga pengiriman barang keluar. Selain itu,

pembaca RFID genggam digunakan untuk mendukung operasi seluler seperti penanganan pengecualian dan audit inventaris. Penempatan pembaca dirancang untuk memastikan deteksi tag yang andal sekaligus meminimalkan interferensi sinyal dari rak logam dan faktor lingkungan lainnya.

Middleware dan Integrasi Sistem

Middleware RFID digunakan untuk menyaring, mengagregasi, dan mengelola data tag mentah sebelum dikirim ke WMS. Middleware ini menjalankan fungsi-fungsi seperti penghapusan pembacaan duplikat, deteksi peristiwa, dan validasi data. Peristiwa RFID yang telah disaring kemudian diintegrasikan ke dalam WMS melalui antarmuka pemrograman aplikasi (API) standar, memungkinkan sinkronisasi waktu nyata antara pergerakan barang fisik dan catatan inventaris digital.

Prosedur Implementasi RFID

Implementasi RFID dilakukan di empat proses utama gudang: penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman.

Proses Penerimaan

Dalam proses penerimaan, palet atau karton yang masuk secara otomatis diidentifikasi saat melewati gerbang penerimaan yang dilengkapi RFID. Pembaca RFID menangkap data tag tanpa memerlukan pemindaian manual. Sistem secara otomatis memverifikasi barang yang diterima terhadap pemberitahuan pengiriman sebelumnya dan memperbarui catatan inventaris di WMS. Hal ini menghilangkan pemindaian barcode manual dan mengurangi risiko kesalahan penerimaan.

Proses Penyimpanan dan Penempatan

Selama proses penempatan barang, pembaca RFID yang terpasang di pintu masuk zona penyimpanan

mendeteksi barang yang diberi tag dan mencatat lokasi penyimpanan yang ditugaskan. Sistem Manajemen Gudang (WMS) memperbarui informasi lokasi secara otomatis, memungkinkan visibilitas penempatan inventaris secara real-time. Proses ini mengurangi ketergantungan pada pemindaian lokasi manual dan meminimalkan kesalahan penempatan.

Proses Pemilihan

Untuk pengambilan pesanan, RFID digunakan untuk memvalidasi bahwa barang dan kuantitas yang diambil sudah benar. Ketika barang dikeluarkan dari lokasi penyimpanan, pembaca RFID mendeteksi pergerakan tersebut dan memperbarui catatan inventaris sesuai dengan itu. Hal ini mendukung verifikasi pengambilan otomatis dan mengurangi kesalahan pengambilan yang disebabkan oleh kesalahan pemindaian barcode manual.

Proses Pengiriman

Di area bongkar muat, pembaca RFID memastikan bahwa barang yang diambil telah dimuat ke pengiriman yang benar. Sistem secara otomatis mencocokkan isi pengiriman dengan pesanan pengiriman dan menghasilkan konfirmasi pengiriman di WMS. Proses ini meningkatkan akurasi pengiriman dan mengurangi upaya verifikasi manual.

Metode Pengumpulan Data

Data dikumpulkan selama dua fase operasional: pra-implementasi (sistem berbasis barcode) dan pasca-implementasi (sistem berbasis RFID). Untuk memastikan keterbandingan, periode pengumpulan data dipilih untuk mencerminkan volume transaksi dan kondisi operasional yang serupa.

Pengukuran Waktu Operasional

Waktu pemrosesan untuk setiap aktivitas gudang diukur menggunakan teknik studi waktu. Waktu dicatat dari

awal proses (misalnya, mulai penerimaan) hingga penyelesaiannya (misalnya, pembaruan inventaris di WMS). Waktu pemrosesan rata-rata per transaksi dihitung untuk sistem berbasis barcode dan berbasis RFID.

Pengukuran Akurasi Inventaris

Akurasi inventaris diukur dengan membandingkan tingkat inventaris yang tercatat dalam sistem dengan jumlah inventaris fisik. Akurasi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Inventory Accuracy (\%)} = \left(1 - \frac{|\text{Recorded Inventory} - \text{Physical Inventory}|}{\text{Physical Inventory}}\right) \times 100 \quad (1)$$

Audit inventaris fisik dilakukan pada interval yang telah ditentukan untuk memvalidasi data sistem.

Pengukuran Tingkat Kesalahan

Tingkat kesalahan diukur untuk proses pengambilan dan pengiriman. Kesalahan meliputi pemilihan barang yang salah, jumlah yang salah, dan ketidaksesuaian pengiriman. Tingkat kesalahan dihitung sebagai rasio kejadian kesalahan terhadap total transaksi.

Indikator Kinerja

Kinerja sistem pergudangan dievaluasi menggunakan tiga indikator utama:

1. Akurasi Inventaris (%) – untuk menilai keandalan data
2. Waktu Pemrosesan (detik) – untuk mengevaluasi efisiensi operasional
3. Tingkat Kesalahan (%) – untuk mengukur kualitas operasional

Indikator-indikator ini banyak digunakan dalam evaluasi kinerja gudang dan memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas sistem.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik

deskriptif dan komparatif. Nilai rata-rata indikator kinerja dihitung untuk fase pra-implementasi dan pasca-implementasi. Persentase peningkatan dihitung untuk mengukur peningkatan kinerja yang dicapai melalui adopsi RFID.

Untuk memastikan keandalan, beberapa sampel observasi dikumpulkan untuk setiap proses gudang. Hasilnya dianalisis proses demi proses dan pada tingkat sistem untuk mengidentifikasi di mana RFID memberikan dampak paling signifikan.

Pertimbangan Validitas dan Reliabilitas

Beberapa langkah diambil untuk memastikan validitas dan reliabilitas penelitian. Validitas internal ditingkatkan dengan menggunakan gudang, tenaga kerja, dan prosedur operasional yang sama sebelum dan sesudah implementasi RFID. Validitas eksternal diatasi dengan memilih gudang dengan karakteristik operasional yang representatif. Reliabilitas didukung melalui prosedur pengumpulan data yang terstandarisasi dan pengukuran berulang.

Pertimbangan Etis dan Praktis

Semua aktivitas pengumpulan data dilakukan dengan persetujuan organisasi. Implementasi RFID dirancang untuk mendukung peningkatan operasional, bukan untuk pemantauan karyawan. Kerahasiaan data dan keamanan sistem dijaga selama penelitian berlangsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Hasil Implementasi RFID

Bagian ini menyajikan dan membahas hasil implementasi Sistem Manajemen Gudang berbasis RFID (RFID–WMS) dan membandingkan kinerjanya dengan sistem berbasis barcode konvensional. Evaluasi

berfokus pada tiga indikator kinerja utama: akurasi inventaris, waktu pemrosesan, dan tingkat kesalahan operasional. Data dikumpulkan selama periode operasional yang sebanding untuk memastikan konsistensi dalam volume transaksi dan beban kerja.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi RFID menghasilkan peningkatan substansial di seluruh proses gudang yang dievaluasi, termasuk penerimaan, penyimpanan, pengambilan, dan pengiriman. Peningkatan ini terutama didorong oleh otomatisasi pengambilan data, pengurangan aktivitas pemindaian manual, dan sinkronisasi waktu nyata antara pergerakan inventaris fisik dan catatan digital.

Kinerja Akurasi Inventaris

Akurasi Inventaris Sebelum dan Setelah Implementasi RFID

Akurasi inventaris merupakan salah satu indikator kinerja paling penting dalam manajemen gudang. Tabel 2 menyajikan perbandingan tingkat akurasi inventaris sebelum dan setelah implementasi RFID.

Tabel 2. Perbandingan Akurasi Inventaris

Proses Pergudangan	Sistem Berbasis Barcode (%)	Sistem Berbasis RFID (%)	Peningkatan (%)
Menerima	94,2	99,1	+4,9
Penyimpanan	92,8	98,7	+5,9
Pengambilan	93,5	99,0	+5,5
Pengiriman	95,1	99,4	+4,3
Keseluruhan	93,9	99,0	+5,1

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam akurasi inventaris di seluruh proses gudang setelah implementasi RFID. Akurasi inventaris secara keseluruhan meningkat dari 93,9% menjadi 99,0%, yang mewakili peningkatan absolut sebesar 5,1%. Meskipun peningkatan persentase ini mungkin tampak sederhana, signifikansi operasionalnya sangat besar. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa bahkan peningkatan kecil dalam akurasi inventaris dapat menyebabkan

pengurangan yang signifikan dalam kekurangan stok, kebutuhan stok pengaman, dan gangguan operasional.

Pembahasan tentang Peningkatan Akurasi Inventaris

Peningkatan akurasi inventaris dapat dikaitkan dengan beberapa karakteristik khusus RFID. Pertama, penghapusan persyaratan garis pandang mengurangi pemindaian yang terlewat yang sering terjadi dalam operasi berbasis barcode. Kedua, pembacaan tag secara simultan memastikan bahwa semua item yang melewati titik kontrol tercatat, meminimalkan risiko transaksi yang tidak tercatat. Ketiga, sinkronisasi data waktu nyata antara pembaca RFID dan WMS mencegah penundaan dalam pembaruan inventaris.

Temuan ini sejalan dengan studi RFID sebelumnya yang menekankan peningkatan akurasi dan visibilitas data sebagai manfaat utama dari adopsi RFID. Namun, tidak seperti penelitian sebelumnya yang sering berfokus pada proses yang terisolasi, studi ini menunjukkan bahwa RFID meningkatkan akurasi inventaris pada tingkat sistem ketika diintegrasikan di seluruh alur kerja gudang.

Analisis Waktu Pemrosesan

Perbandingan Waktu Pemrosesan menurut Proses Gudang

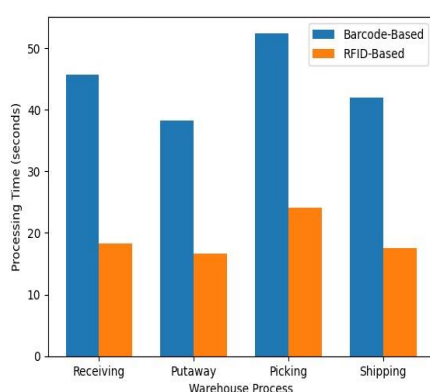
Waktu pemrosesan secara langsung memengaruhi kapasitas gudang dan produktivitas tenaga kerja. Tabel 3 menyajikan waktu pemrosesan rata-rata untuk aktivitas gudang utama di bawah sistem berbasis barcode dan berbasis RFID.

Tabel 3. Rata-rata Waktu Pemrosesan per Transaksi (detik)

Proses Pergudangan	Berbasis Kode Batang	Berbasis RFID	Pengurangan Waktu (%)
Menerima	45,6	18,3	59,9
Simpan	38,2	16,7	56,3
Pengambilan	52,4	24,1	54,0
Pengiriman	41,9	17,5	58,2
Rata-rata	44,5	19,2	56,9

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi RFID mengurangi waktu pemrosesan rata-rata sebesar 56,9% di seluruh proses pergudangan. Penghematan waktu yang paling signifikan terlihat pada aktivitas penerimaan dan pengiriman, di mana pembacaan massal dan verifikasi otomatis menghilangkan kebutuhan untuk pemindaian barcode individual.

Representasi Grafis Pengurangan Waktu Pemrosesan



Gambar 1. Perbandingan Waktu Pemrosesan Antara Barcode dan RFID

Gambar 1 menunjukkan bahwa RFID secara konsisten mengurangi waktu proses pada seluruh aktivitas gudang. Pengurangan paling besar terlihat pada Penerimaan dan Pengiriman, yang diuntungkan oleh kemampuan RFID membaca banyak item secara simultan tanpa saling berhadapan. Secara keseluruhan, RFID menurunkan waktu proses lebih dari setengah dibandingkan sistem barcode, menunjukkan peningkatan throughput dan efisiensi operasional.

Pembahasan Hasil Waktu Pemrosesan

Pengurangan waktu pemrosesan yang signifikan menyoroti peningkatan efisiensi operasional yang dapat dicapai melalui adopsi RFID. Dalam sistem berbasis barcode, setiap transaksi memerlukan pemindaian manual, yang mengakibatkan penundaan waktu,

terutama dalam operasi bervolume tinggi. RFID memungkinkan pengambilan data otomatis dan paralel, sehingga secara efektif menghilangkan hambatan ini.

Temuan ini konsisten dengan Novitasari dan Anwar (2022), yang melaporkan penghematan waktu yang substansial dari implementasi RFID dalam operasi logistik. Namun, studi ini memperluas penelitian sebelumnya dengan menunjukkan peningkatan efisiensi serupa dalam lingkungan gudang yang terintegrasi penuh, bukan hanya aktivitas logistik yang terisolasi.

Analisis Tingkat Kesalahan

Tingkat Kesalahan Operasional

Kesalahan operasional dalam pengambilan dan pengiriman secara langsung memengaruhi kepuasan pelanggan dan biaya operasional. Tabel 4 membandingkan tingkat kesalahan antara sistem berbasis barcode dan sistem berbasis RFID.

Tabel 4. Perbandingan Tingkat Kesalahan Operasional

Proses	Tingkat Kesalahan Berbasis Barcode (%)	Tingkat Kesalahan Berbasis RFID (%)
Pengambilan	2,8	0,6
Pengiriman	2,1	0,4
Keseluruhan	2,5	0,5

Penerapan RFID (Ahmad, et al., 2021; Leon, et al., 2020) mengurangi tingkat kesalahan operasional secara keseluruhan dari 2,5% menjadi 0,5%, yang mewakili pengurangan kesalahan sebesar 80%.

Pembahasan tentang Pengurangan Kesalahan

Penurunan tingkat kesalahan terutama disebabkan oleh verifikasi otomatis yang dimungkinkan oleh RFID. Selama pengambilan dan pengiriman, pembaca RFID memvalidasi identitas dan kuantitas barang secara real-time, mencegah barang yang salah masuk ke tahap

selanjutnya. Validasi otomatis ini sangat efektif dalam mengurangi kesalahan manusia yang disebabkan oleh kelelahan, tekanan waktu, dan rute pengambilan yang kompleks.

Hasil ini mendukung argumen bahwa RFID tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga meningkatkan kualitas operasional. Tingkat kesalahan yang berkurang berarti lebih sedikit pengembalian barang, biaya pengerjaan ulang yang lebih rendah, dan kepuasan pelanggan yang lebih baik.

Evaluasi Kinerja Tingkat Sistem Terintegrasi **Peningkatan Kinerja Gudang Secara Keseluruhan**

Tabel 5 merangkum peningkatan kinerja keseluruhan yang dicapai melalui implementasi RFID.

Tabel 5. Ringkasan Peningkatan Kinerja Tingkat Sistem

Indikator Kinerja ^a	Berbasis Kode Batang ^c	Berbasis RFID ^a	Peningkatan ^b
Akurasi Inventaris (%) ^a	93,9 ^a	99,0 ^a	+5,1 ^a
Waktu Pemrosesan (detik) ^a	44,5 ^a	19,2 ^a	-56,9% ^a
Tingkat Kesalahan (%) ^a	2,5 ^a	0,5 ^a	-80,0% ^a

Hasil terintegrasi menunjukkan bahwa RFID memberikan peningkatan simultan dalam akurasi, kecepatan, dan kualitas. Yang penting, peningkatan ini dicapai tanpa meningkatkan input tenaga kerja, yang menunjukkan potensi RFID untuk meningkatkan produktivitas.

Diskusi dalam Kaitannya dengan Literatur yang Ada

Temuan studi ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menekankan kemampuan RFID untuk meningkatkan visibilitas dan otomatisasi. Namun, studi ini memberikan nilai tambah dengan menyediakan bukti empiris tingkat sistem tentang dampak RFID di seluruh proses gudang. Studi sebelumnya

seringkali berfokus pada aktivitas individu atau manfaat konseptual, sedangkan penelitian ini menunjukkan bagaimana implementasi RFID-WMS yang terintegrasi mengubah kinerja gudang secara keseluruhan.

Implikasi Teoritis

Dari perspektif teoretis, studi ini memperluas teori akurasi inventaris dan kinerja gudang dengan menunjukkan peran teknologi identifikasi otomatis dalam mengurangi latensi informasi dan intervensi manusia. Hasil penelitian mendukung pandangan bahwa akurasi inventaris bukan semata-mata fungsi dari kebijakan inventaris, tetapi juga dari mekanisme pengumpulan data yang tertanam dalam proses operasional.

Temuan ini juga berkontribusi pada literatur adopsi teknologi dengan menyoroti bahwa manfaat kinerja bergantung pada kedalaman integrasi sistem. RFID memberikan nilai penuhnya ketika tertanam di seluruh alur kerja gudang ujung-ke-ujung, bukan diimplementasikan sebagai alat yang berdiri sendiri.

Implikasi Manajerial dan Praktis

Bagi para praktisi, hasil penelitian ini memberikan justifikasi yang kuat untuk berinvestasi dalam solusi gudang berbasis RFID. Peningkatan yang ditunjukkan dalam waktu pemrosesan dan pengurangan kesalahan menunjukkan potensi penghematan biaya tenaga kerja dan peningkatan kualitas layanan. Manajer gudang dapat memanfaatkan RFID untuk mendukung pengambilan keputusan secara real-time, mengurangi ketergantungan pada kontrol manual, dan meningkatkan ketahanan operasional.

Namun, implementasi RFID yang sukses membutuhkan desain sistem yang cermat, penempatan pembaca, dan integrasi dengan WMS yang ada. Organisasi juga harus

mempertimbangkan manajemen perubahan dan pelatihan karyawan untuk mewujudkan sepenuhnya manfaat RFID.

Pembahasan Keterbatasan

Meskipun hasilnya kuat, beberapa keterbatasan perlu diakui. Studi ini berfokus pada satu kasus gudang, yang dapat membatasi generalisasi. Selain itu, analisis menekankan indikator kinerja operasional dan tidak mencakup analisis biaya-manfaat yang terperinci. Penelitian selanjutnya harus meneliti adopsi RFID di beberapa gudang dan memasukkan evaluasi kinerja keuangan.

KESIMPULAN

Studi ini meneliti implementasi teknologi Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) (Li, M., et al., 2011) yang terintegrasi dengan Sistem Manajemen Gudang (WMS) untuk meningkatkan akurasi inventaris dan efisiensi operasional dalam operasi gudang. Penelitian ini dimotivasi oleh tantangan yang terus-menerus dihadapi oleh sistem gudang berbasis barcode konvensional, termasuk ketidakakuratan inventaris, kesalahan pengambilan data manual, dan visibilitas waktu nyata yang terbatas. Melalui pendekatan eksperimental berbasis kasus, studi ini memberikan bukti empiris tentang bagaimana pergudangan yang didukung RFID dapat mengatasi tantangan ini dan meningkatkan kinerja gudang secara keseluruhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi RFID menghasilkan peningkatan signifikan di semua indikator kinerja yang dievaluasi. Akurasi inventaris meningkat secara substansial, mencapai konsistensi mendekati waktu nyata antara catatan sistem dan stok fisik. Peningkatan ini terutama didorong oleh kemampuan RFID untuk secara otomatis menangkap data tanpa

memerlukan pandangan langsung dan untuk menyinkronkan informasi inventaris secara instan dengan WMS. Akurasi inventaris yang lebih tinggi sangat penting untuk mengurangi kekurangan stok, meminimalkan kelebihan inventaris, dan mendukung pengambilan keputusan operasional dan strategis yang lebih andal.

Dari segi efisiensi operasional, temuan menunjukkan pengurangan waktu pemrosesan yang signifikan di seluruh proses gudang utama, termasuk penerimaan, penempatan, pengambilan, dan pengiriman. Dengan menghilangkan pemindaian barcode secara berurutan dan memungkinkan identifikasi simultan beberapa item, RFID secara signifikan mempercepat pemrosesan transaksi dan mengurangi ketergantungan tenaga kerja. Peningkatan efisiensi ini menghasilkan peningkatan kapasitas gudang dan peningkatan respons terhadap permintaan pelanggan, yang merupakan kemampuan penting dalam rantai pasokan modern yang sensitif terhadap waktu.

Studi ini juga menyoroti pengurangan substansial dalam tingkat kesalahan operasional, khususnya dalam aktivitas pengambilan dan pengiriman. Verifikasi otomatis yang dimungkinkan oleh RFID meminimalkan kesalahan manusia yang umumnya terjadi karena kelelahan, tekanan beban kerja, atau rute pengambilan yang kompleks. Pengurangan tingkat kesalahan berkontribusi langsung pada peningkatan kualitas layanan, penurunan biaya pengerjaan ulang, dan peningkatan kepuasan pelanggan, memperkuat peran RFID tidak hanya sebagai teknologi yang meningkatkan efisiensi tetapi juga sebagai mekanisme peningkatan kualitas.

Dari perspektif teoretis, penelitian ini berkontribusi pada literatur

manajemen gudang dan logistik dengan memberikan bukti empiris tingkat sistem tentang dampak kinerja teknologi RFID. Berbeda dengan studi sebelumnya yang berfokus pada proses terisolasi atau manfaat konseptual, studi ini menunjukkan bahwa RFID memberikan nilai penuhnya ketika diintegrasikan di seluruh alur kerja gudang ujung-ke-ujung dalam lingkungan WMS. Temuan ini memperluas teori akurasi inventaris dengan menekankan pentingnya teknologi identifikasi otomatis sebagai penentu keandalan data dan kinerja operasional.

Dari sudut pandang praktis, kerangka integrasi RFID–WMS yang diusulkan menawarkan panduan yang dapat ditindaklanjuti bagi manajer gudang dan pengambil keputusan yang mempertimbangkan adopsi RFID. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi RFID dapat menghasilkan peningkatan kinerja yang terukur dalam hal akurasi, kecepatan, dan kualitas operasional, terutama di lingkungan gudang dengan volume tinggi. Namun, implementasi yang sukses membutuhkan desain sistem yang cermat, penempatan pembaca yang tepat, dan integrasi yang mulus dengan sistem informasi yang ada.

Terlepas dari kontribusinya, studi ini memiliki keterbatasan. Analisis didasarkan pada satu kasus gudang saja, yang dapat membatasi generalisasi, dan tidak mencakup analisis biaya-manfaat yang komprehensif. Penelitian selanjutnya harus mengkaji implementasi RFID di berbagai konteks gudang, memasukkan evaluasi kinerja keuangan, dan mengeksplorasi dampak organisasi jangka panjang dari pergudangan cerdas yang didukung RFID.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M., Abdul Karim, M. A., & Zaidi, M. H. A. (2021). RFID Application in Courier

Services. *International Journal on Perceptive and Cognitive Computing*, 7(1), 108–112. Retrieved from <https://journals.iium.edu.my/kict/index.php/IJPC/article/view/233>

Arabelen, G., & Kaya, H. T. (2021). Assessment of logistics service quality dimensions: A qualitative approach. *Journal of Shipping and Trade*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s41072-021-00095-1> <https://journalofshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-021-00095-1>

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & Distribution Science* (2nd ed.). Georgia Institute of Technology. <https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.1.pdf>

Chanchaichujit, J., Balasubramanian, S., & Charmaine, N. S. M. (2021). A systematic literature review on the benefit-drivers of RFID implementation in supply chains and its impact on organizational competitive advantage. *Cogent Business & Management*, 8(1), 1818408. <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1818408> <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311975.2020.1818408>

Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/supply-chain-management/P200000006734> doi:10.1016/j.compind.2015.10.002

Gülç, A. (2020). Determinants of courier service quality in e-

- commerce from customers' perspective. *Quality Innovation Prosperity*, 26(2), 137–152. DOI: 10.12776/qip.v24i2.1438
https://www.researchgate.net/publication/343422476_Determinants_of_Courier_Service_Quality_in_e-Commerce_from_Customers'_Perspective
- Gülç, A. (2021). Multi-stakeholder perspective of courier service quality in B2C e-commerce. *PLoS ONE*, 16(5), e0251728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251728>
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0251728>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (13th ed.). Pearson. <https://eu-opensci.org/index.php/ejbmr/article/view/50247>
https://www.pearson.com/nl/en_NL/higher-education/subject-catalogue/decision-science/Heizer-Operations-management-sypply-chain-management-13e.html
- Istiqomah, Nadya Amanda., Sansabilla, Putri Fara., Himawan, Doddy., Rifni, Muhammad. (2020). The Implementation of Barcode on Warehouse Management System for Warehouse Efficiency. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1573** 012038. doi: 10.1088/1742-6596/1573/1/012038.
- Jintana, J., Sopadang, A., & Ramingwong, S. (2021). Idea selection of new service for courier business: The opportunity of data analytics. *International Journal of Engineering Business Management*, 13. DOI:10.1177/18479790211042191
<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/18479790211042191>
- Kgobe, P., & Ozor, P. A. (2021). Integration of radio frequency identification technology in supply chain management: A critical review. *Operations and Supply Chain Management*, 14(4), 289–300. <https://doi.org/10.31387/oscm0460303> <https://journal.oscm-forum.org/article/integration-of-rfid>
- Khan, S., M., Asim, S., Manzoor. (2020). Impact of Information Technology on Internal Supply Chain Management Implementation of RFID Tags. *European Journal of Business and Management Research*, 5(2). <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2020.5.2.247>
- Leon, D., Farahana, I., & Kamsin, B. (2020). Logistics system by using RFID technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(4), 865–872.
- Li, M., Gu, S., Chen, G., & Zhu, Z. (2011). A RFID-based Intelligent Warehouse Management System Design and Implementation. *2011 IEEE 8th International Conference on e-Business Engineering*, 178-184.
- McFarlane, D., Giannikas, V., & Lu, W. (2016). *Intelligent Logistics and Warehousing*. Springer. https://www.researchgate.net/publication/290220672_Intelligent_Logistics_Involving_the_Customer
- Novitasari, N., & Anwar, N. (2022). Enhanced technology for logistics courier delivery using RFID label to minimize processing time. *International Journal on Informatics Visualization*, 6(3), 610–617. DOI:

- <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.6.3.1229>
- Richards, G. (2017). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs* (2nd ed.). Kogan Page.
<https://www.koganpage.com/product/warehouse-management-9780749476616/>
- Todorovic, V., Neag, M., & Lazarevic, M. (2014). On the usage of RFID tags for tracking and monitoring of shipped goods. *Procedia Engineering*, 69, 1345–1349.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.127>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814003737>
- Zhang, X., Dong, Q., & Hu, F. (2012). Applications of RFID in logistics and supply chains: Overview. *Conference: International Conference of Logistics Engineering and Management 2012* doi: 10.1061/9780784412602.0213
- Zhou, W. H., Jiang, N. D., & Yan, C. C. (2019). Research on anti-collision algorithm of RFID tags in logistics systems. *Procedia Computer Science*, 154, 460–467.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.06.065>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919311947>