



Potensi RFID Dalam Logistik: Kajian Literatur Dengan Fokus Pada Pusat Perdagangan Batam

Dimas Akmarul Putera¹⁾ Arief Andika Putra²⁾

¹⁾ Manajemen Rekayasa, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Batam

^{1,2)} Laboratorium Rekayasa Industri Terintegrasi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Batam

E-mail: dimas.a.p@iteba.ac.id¹⁾ arief@iteba.ac.id²⁾

ABSTRAK

Abstrak. Studi ini menyelidiki potensi transformatif teknologi Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) dalam meningkatkan operasi logistik dan ritel, dengan fokus pada peran strategis Batam sebagai pusat perdagangan dan industri. Temuan dari tinjauan pustaka sistematis menekankan kapasitas RFID untuk meningkatkan pelacakan waktu nyata, akurasi inventaris, dan efisiensi operasional, terutama ketika diintegrasikan dengan teknologi canggih seperti blockchain dan IoT untuk menciptakan sistem logistik yang aman dan cerdas. Namun, tantangan seperti biaya implementasi yang tinggi, kendala lingkungan, dan kurangnya protokol standar menimbulkan hambatan yang signifikan terhadap adopsi, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya seperti Batam. Studi ini menyoroti perlunya penelitian di masa mendatang untuk mengembangkan solusi RFID yang hemat biaya dan dapat diskalakan yang disesuaikan dengan lanskap logistik Batam, memanfaatkan AI dan pembelajaran mesin untuk analitik prediktif yang ditingkatkan dan pengoptimalan operasional. Upaya kolaboratif di antara para pemangku kepentingan sangat penting untuk mengatasi hambatan ini dan membuka potensi penuh RFID untuk mengubah operasi rantai pasokan di Batam dan wilayah serupa.

Kata kunci: Batam , Blockchain , IoT , Logistik, RFID.

Abstract

This study investigates the transformative potential of Radio Frequency Identification (RFID) technology in enhancing logistics and retail operations, with a focus on Batam's strategic role as a trade and industrial hub. The findings from a systematic literature review emphasize RFID's capacity to improve real-time tracking, inventory accuracy, and operational efficiency, particularly when integrated with advanced technologies like blockchain and IoT to create secure, smart logistics systems. However, challenges such as high implementation costs, environmental constraints, and a lack of standardized protocols pose significant barriers to adoption, especially in resource-constrained regions like Batam. The study highlights the need for future research to develop cost-effective and scalable RFID solutions tailored to Batam's logistics landscape, leveraging AI and machine learning for enhanced predictive analytics and operational optimization. Collaborative efforts among stakeholders are essential to address these barriers and unlock RFID's full potential for transforming supply chain operations in Batam and similar regions.

Keywords: Batam, Blockchain, IoT, Logistics, RFID.

1. PENDAHULUAN

Sektor ritel beroperasi dalam lingkungan yang dinamis [1], [2], didorong oleh kemajuan teknologi yang pesat [3] dan ekspektasi pelanggan yang terus berubah. Manajemen logistik, komponen penting dari rantai pasokan ritel, menjadi semakin kompleks karena globalisasi, siklus hidup produk yang lebih pendek, dan permintaan akan pengalaman berbelanja yang lebih personal. Agar tetap kompetitif, pengecer harus mengadopsi solusi inovatif yang meningkatkan efisiensi operasional dan meningkatkan kepuasan pelanggan [4].

Salah satu teknologi yang paling transformatif dalam manajemen logistik adalah Radio Frequency Identification (RFID) [5]. Teknologi RFID memanfaatkan gelombang radio untuk mengidentifikasi dan melacak barang secara otomatis, menawarkan visibilitas waktu nyata di seluruh rantai pasokan [6]. Tidak seperti sistem kode batang tradisional, RFID memungkinkan pemindaian non-line-of-sight, pelacakan simultan beberapa barang, dan penyimpanan informasi terperinci pada setiap tag. Kemampuan ini membuat RFID sangat cocok untuk sektor ritel seperti mode, grosir, dan operasi omnichannel, di mana akurasi dan kecepatan inventaris adalah yang terpenting [7].

RFID memberikan manfaat yang signifikan pada berbagai tahap rantai pasokan [8], termasuk:

- Manajemen Inventaris: Peningkatan akurasi dan pengurangan intervensi manual, sehingga mengurangi kejadian kehabisan stok dan kelebihan stok.
- Pengisian Ulang Rak: Pemantauan otomatis ketersediaan produk dan pengisian ulang stok yang lancar dari penyimpanan hingga lantai penjualan.
- Efisiensi Distribusi: Pelacakan barang secara real-time selama transit, memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap keterlambatan atau gangguan.
- Pengalaman Pelanggan: Peningkatan tingkat layanan melalui proses pembayaran yang lebih cepat dan pengalaman berbelanja yang dipersonalisasi.

Selain itu, RFID telah menjadi landasan upaya keberlanjutan dalam industri ritel. Dengan mengoptimalkan manajemen inventaris dan mengurangi limbah, RFID meminimalkan jejak karbon yang terkait dengan produksi berlebih, transportasi, dan pembuangan. Pengecer seperti H&M dan Marks & Spencer telah menunjukkan bagaimana integrasi RFID dapat meningkatkan

keberlanjutan operasional dengan memungkinkan peramalan permintaan yang tepat dan mengurangi konsumsi sumber daya yang tidak perlu [9].

Meskipun memiliki potensi transformatif, penerapan teknologi RFID menghadirkan beberapa tantangan. Biaya investasi awal yang tinggi, hambatan integrasi teknologi, dan sensitivitas terhadap faktor lingkungan tetap menjadi rintangan yang signifikan. Selain itu, masalah privasi data dan kebutuhan akan standar industri yang berlaku secara luas mempersulit proses adopsi. Namun, kemajuan dalam AI dan pembelajaran mesin telah membuka jalan bagi sistem RFID yang lebih cerdas yang mengurangi tantangan ini dengan meningkatkan akurasi sinyal, mengurangi gangguan kebisingan, dan memungkinkan analisis prediktif untuk manajemen inventaris [10].

Di kawasan seperti Asia Tenggara, termasuk Batam, adopsi RFID siap memainkan peran penting dalam mengatasi tantangan logistik unik yang dihadapi oleh industri lokal. Lokasi strategis Batam sebagai pusat perdagangan internasional menjadikannya kandidat ideal untuk memanfaatkan RFID guna meningkatkan efisiensi dan daya saing rantai pasokan. Dengan berfokus pada pengintegrasian RFID dengan teknologi baru dan menyesuaikan solusi untuk memenuhi kebutuhan lokal, sektor ritel dapat membuka tingkat baru keunggulan operasional dan keterlibatan pelanggan.

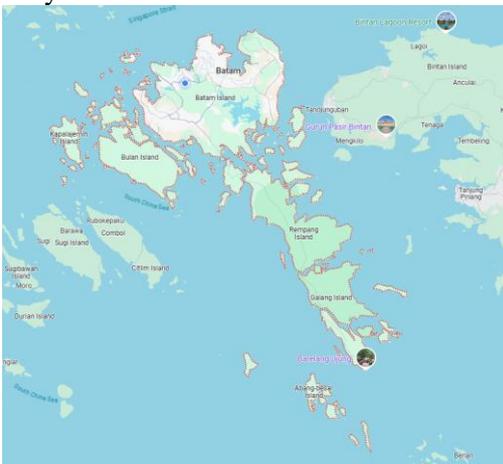
Batam (Gambar 1) adalah kota pulau yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia. Berlokasi strategis di dekat Singapura dan Malaysia, Batam berfungsi sebagai pusat utama perdagangan, industri, dan logistik di Asia Tenggara. Meliputi area seluas sekitar 1.595 kilometer persegi, Batam telah berkembang menjadi salah satu kawasan ekonomi dengan pertumbuhan tercepat di Indonesia, dengan kedekatannya dengan jalur pelayaran internasional yang menjadikannya pintu gerbang penting bagi perdagangan regional dan global [11], [12].

Batam merupakan bagian dari Kawasan Perdagangan Bebas Batam, Bintan, dan Karimun (BBK), yang didirikan untuk menarik investasi asing dan meningkatkan daya saing ekonomi Indonesia. Kota ini dikenal dengan infrastrukturnya yang berkembang dengan baik, termasuk pelabuhan modern, bandara internasional, dan kawasan industri, yang melayani berbagai sektor seperti elektronik, galangan kapal, pariwisata, dan logistik [13].

Batam telah menjadikannya sebagai titik fokus operasi logistik dan rantai pasokan. Pelabuhan utama kota ini, seperti Pelabuhan Batu Ampar dan Terminal Feri

Internasional Sekupang , memfasilitasi transportasi barang yang lancar ke negara-negara tetangga dan sekitarnya. Peran Batam sebagai hub transshipment semakin diperkuat oleh koneksinya ke rute pelayaran utama di Selat Malaka [14].

Dengan lokasinya yang strategis dan berbagai insentif yang didukung pemerintah, Batam siap menjadi kota industri cerdas, yang memadukan berbagai teknologi canggih seperti IoT, RFID, dan AI ke dalam sektor logistik dan manufakturnya. Dengan memanfaatkan kekuatan geografis dan ekonominya, Batam bertujuan untuk meningkatkan daya saing globalnya dan menarik lebih banyak investasi internasional.



Gambar 1. Pulau Batam (Source: Google Maps)

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metodologi

Studi ini menggunakan telaah pustaka sistematis untuk menyelidiki implementasi dan tantangan teknologi Radio Frequency Identification (RFID), khususnya dalam operasi logistik dan ritel di Batam . Telaah pustaka ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang aplikasi praktis RFID, manfaatnya, dan hambatan adopsi, khususnya dalam konteks yang mirip dengan sektor logistik dan ritel Batam. Pencarian pustaka dilakukan dengan menggunakan basis data jurnal internasional terkemuka, termasuk Scopus dan Web of Science, dengan menggunakan kata kunci seperti "RFID dalam logistik," "rantai pasokan ritel," dan "tantangan implementasi RFID." Kriteria inklusi difokuskan pada studi yang membahas aplikasi praktis RFID dalam logistik dan ritel, khususnya yang menyajikan data kuantitatif tentang hasil implementasi, seperti peningkatan

akurasi inventaris atau efisiensi biaya. Artikel yang bersifat teoritis atau tidak memiliki data empiris dikecualikan dari telaah untuk memastikan relevansi dan ketelitian.

Proses seleksi melibatkan penyaringan awal judul dan abstrak untuk mengidentifikasi studi yang memenuhi kriteria inklusi, diikuti dengan tinjauan terperinci atas artikel yang dipilih. Penekanan khusus diberikan pada studi kasus yang memberikan hasil yang terukur, seperti dampak RFID pada manajemen inventaris, pengisian ulang rak, atau kinerja logistik. Data dari studi ini dianalisis untuk mengidentifikasi tema yang berulang, tantangan, dan solusi inovatif.

Melalui metodologi ini, penelitian ini berupaya untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang peran RFID dalam mengatasi tantangan logistik di Batam . Temuan ini diharapkan dapat menyoroti praktik terbaik, mengidentifikasi kesenjangan penelitian, dan menyediakan landasan bagi penelitian di masa mendatang yang bertujuan untuk mengoptimalkan integrasi RFID dalam konteks ekonomi dan teknologi yang serupa.

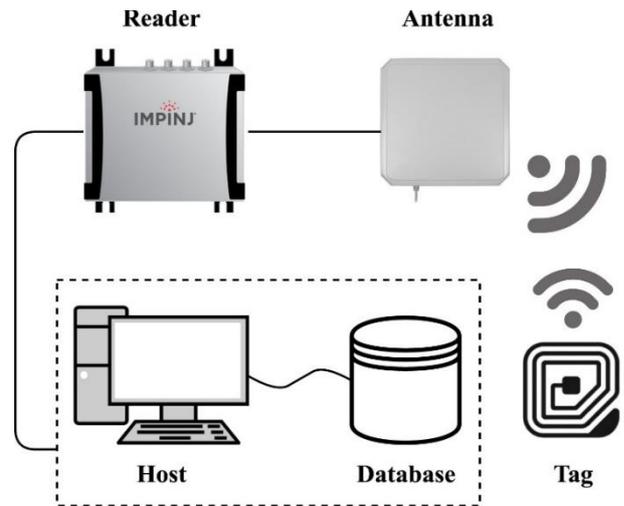
2.2. Definisi RFID

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi canggih yang menggunakan gelombang radio untuk mengidentifikasi dan melacak objek secara otomatis. Teknologi ini dikenal luas karena kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam bidang logistik, ritel, dan berbagai industri lainnya. Sistem RFID terdiri dari tiga komponen utama: tag, reader, dan middleware. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk menangkap, memproses, dan mengirimkan data, sehingga memungkinkan pelacakan dan pengelolaan aset secara lancar secara real-time [15] Tag RFID adalah perangkat kecil yang tertanam dengan microchip yang menyimpan data identifikasi unik. Tag ini dikategorikan menjadi dua jenis: tag pasif dan aktif. Tag pasif mengandalkan energi yang ditransmisikan oleh pembaca RFID untuk beroperasi, sehingga hemat biaya dan cocok untuk aplikasi skala besar seperti manajemen inventaris. Di sisi lain, tag aktif bertenaga baterai, memungkinkannya untuk mentransmisikan data dalam jarak yang lebih jauh dan membuatnya ideal untuk pelacakan aset bernilai tinggi [16]. Pembaca RFID adalah perangkat yang memancarkan sinyal radio untuk berkomunikasi dengan tag. Perangkat ini menangkap data yang tersimpan pada tag dan

mengirimkannya ke middleware untuk diproses lebih lanjut. Middleware bertindak sebagai jembatan antara perangkat keras RFID dan sistem perusahaan, mengelola integrasi dan analisis data untuk mendukung proses pengambilan keputusan. Tidak seperti sistem kode batang tradisional, RFID tidak memerlukan garis pandang langsung untuk pemindaian, sehingga beberapa item dapat dilacak secara bersamaan [17].

Penerapan RFID telah mengubah operasi logistik dan ritel dengan memberikan visibilitas waktu nyata ke dalam aktivitas rantai pasokan. Manfaat utamanya meliputi peningkatan akurasi inventaris, pengurangan biaya tenaga kerja, dan peningkatan efisiensi operasional. Misalnya, sistem yang mendukung RFID mengotomatiskan pengisian ulang stok, mengoptimalkan operasi gudang, dan mencegah kehabisan stok, yang pada akhirnya meningkatkan kepuasan pelanggan. Dalam ritel, RFID memfasilitasi proses pembayaran yang lebih cepat dan mendukung strategi omnichannel, seperti pengambilan di dalam toko dan sinkronisasi inventaris yang lancar antara toko fisik dan online [18].

Meskipun memiliki banyak keuntungan, penerapan RFID bukannya tanpa tantangan. Biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan teknis seperti gangguan sinyal, dan faktor lingkungan seperti suhu ekstrem atau kelembaban tinggi dapat menghambat kinerja sistem RFID. Selain itu, kekhawatiran mengenai keamanan dan privasi data memerlukan kebijakan yang kuat untuk memastikan kepatuhan terhadap standar internasional [19]. Sebagai teknologi yang terus berkembang [3], RFID semakin terintegrasi dengan sistem canggih lainnya, seperti Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI). Integrasi ini memungkinkan analisis prediktif, otomatisasi yang ditingkatkan, dan skalabilitas yang lebih besar, menjadikan RFID sebagai alat penting untuk logistik modern dan operasi ritel [20]. Dalam konteks Batam, di mana logistik dan perdagangan memainkan peran penting dalam ekonomi lokal, RFID memiliki potensi untuk mengatasi tantangan kritis dan meningkatkan daya saing rantai pasokan. Ilustrasi komprehensif dari proses komunikasi dengan komponen RFID dasar ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Komponen Dasar Sistem RFID [19]

2.3. Teknologi RFID untuk Meningkatkan Keamanan Logistik

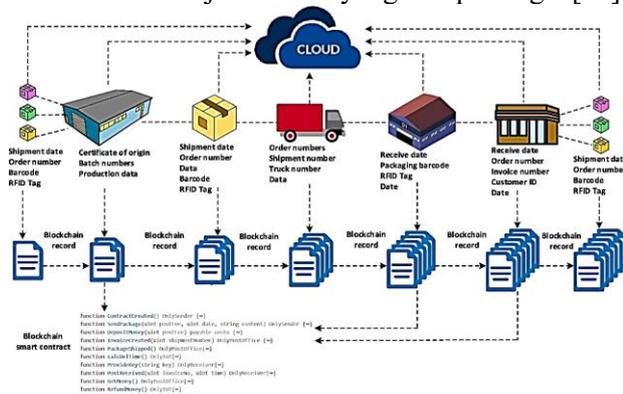
Teknologi Radio Frequency Identification (RFID) berfungsi sebagai landasan dalam keamanan logistik modern, memanfaatkan pelacakan waktu nyata, akurasi data yang ditingkatkan, dan kemampuan pemantauan yang komprehensif. Integrasinya dengan teknologi canggih seperti blockchain, Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan (AI) berpotensi untuk merevolusi sektor logistik dengan mengatasi kerentanan, mengurangi pencurian, dan meningkatkan ketahanan operasional. Kemampuan RFID untuk memberikan visibilitas waktu nyata di seluruh rantai pasokan logistik bersifat transformatif untuk keamanan dan efisiensi. Tidak seperti sistem kode batang, RFID beroperasi tanpa memerlukan garis pandang langsung, yang memungkinkan beberapa item dilacak secara bersamaan, bahkan di lingkungan yang kompleks atau bervolume tinggi. Keuntungan ini memastikan bahwa semua aset diperhitungkan, mengurangi kemungkinan pencurian atau kehilangan selama transit [21].

Di pusat logistik seperti gudang dan pusat distribusi, tag RFID yang dilengkapi dengan sensor dapat memantau kondisi lingkungan, termasuk suhu, kelembaban, dan getaran. Kemampuan ini sangat penting untuk kargo sensitif atau bernilai tinggi, seperti farmasi dan elektronik, untuk memastikan integritas barang sekaligus mencegah akses tidak sah [22].

2.4. Integrasi Lanjutan: RFID, Blockchain, dan IoT

Mengintegrasikan RFID dengan teknologi blockchain dan IoT meningkatkan fungsionalitasnya dengan menyediakan penyimpanan data yang anti-rusak, konektivitas yang lancar, dan analisis prediktif. Blockchain memastikan kekekalan catatan yang dikumpulkan dari perangkat RFID, menciptakan jejak audit yang aman dari berbagai peristiwa di seluruh rantai logistik. Misalnya, di area yang rawan pencurian, teknologi geofencing yang dikombinasikan dengan peringatan RFID dapat memberi tahu operator saat kargo bergerak melampaui zona yang ditentukan, memicu tindakan pencegahan segera [23] yang dapat dilihat pada Gambar 3.

IoT semakin memperkuat nilai RFID dengan menghubungkan perangkat di seluruh rantai pasokan. Misalnya, pembaca RFID yang mendukung IoT dapat memasukkan data ke dalam sistem pemantauan terpusat secara real-time, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan koordinasi yang lebih baik antara para pemangku kepentingan. Integrasi ini sangat berharga dalam sistem logistik cerdas, di mana efisiensi dan keamanan menjadi hal yang terpenting [24].



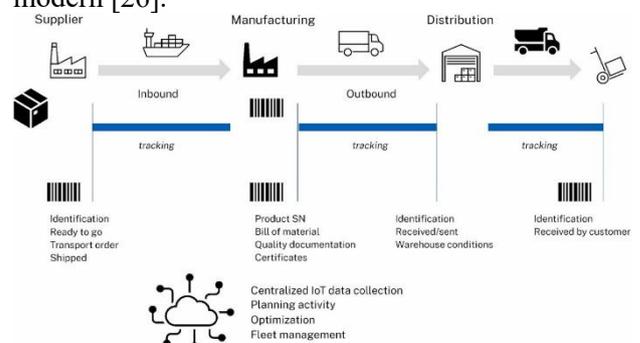
Gambar 3. Blockchain pada Proses Logistik [24]

2.5 Meningkatkan Ketahanan Terhadap Pencurian

Meningkatnya insiden pencurian kargo secara global menyoroti kebutuhan kritis untuk sistem logistik yang aman. Teknologi RFID memainkan peran penting dalam mengurangi pencurian dengan memungkinkan pemantauan berkelanjutan dan deteksi anomali secara real time. Misalnya, sistem RFID dapat mengidentifikasi pola yang tidak biasa, seperti penyimpangan rute yang tidak terduga atau pemberhentian yang lama, yang dapat mengindikasikan potensi pelanggaran keamanan.

Ketika terintegrasi dengan analitik berbasis AI, sistem ini meningkatkan kemampuan prediktif, yang memungkinkan operator untuk merespons secara proaktif. Lebih jauh lagi, teknologi blockchain melengkapi RFID dengan membuat catatan yang tidak dapat diubah dari semua peristiwa logistik, memastikan transparansi dan memberikan bukti yang dapat diandalkan jika terjadi investigasi. Dalam skenario logistik bernilai tinggi, seperti pengangkutan barang mewah atau pasokan medis penting, sistem berkemampuan RFID menawarkan fitur-fitur canggih seperti tag aktif untuk pelacakan jarak jauh, kunci pintar yang terhubung dengan RFID untuk mencegah gangguan, dan tag pemantauan kondisi untuk memastikan integritas kargo selama transit [25].

Meskipun memiliki potensi transformatif, penerapan RFID dalam keamanan logistik menghadirkan beberapa tantangan. Biaya infrastruktur yang tinggi, termasuk tag RFID, pembaca, dan middleware, sering kali menghalangi usaha kecil dan menengah untuk mengadopsi teknologi tersebut (Gambar 4). Selain itu, faktor lingkungan seperti gangguan dari permukaan logam atau kondisi cuaca ekstrem dapat menghambat kinerja RFID, khususnya di wilayah industri atau tropis. Tantangan signifikan lainnya adalah memastikan keamanan dan privasi data, karena sistem RFID menghasilkan sejumlah besar informasi sensitif. Organisasi harus menerapkan langkah-langkah keamanan siber yang kuat dan mematuhi peraturan perlindungan data untuk mencegah akses tidak sah dan penyalahgunaan data. Mengatasi tantangan ini memerlukan upaya kolaboratif di antara para pemangku kepentingan, termasuk penyedia teknologi, pembuat kebijakan, dan pemimpin industri, untuk mengembangkan sistem RFID yang hemat biaya, tangguh, dan aman yang dapat mendukung tuntutan operasi logistik modern [26].



Gambar 4. Sistem IoT dari berbagai tahap rantai pasokan dengan menggunakan data peristiwa dan sensor [27]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1.1. Hasil penelitian

Tinjauan pustaka dalam studi ini menyoroti potensi transformatif teknologi RFID dalam operasi logistik dan ritel sekaligus mengatasi tantangan kritis yang terkait dengan penerapannya. Dengan meninjau studi yang relevan secara sistematis, muncul beberapa temuan utama terkait integrasi, manfaat, dan hambatan penerapan RFID. Untuk daftar penelitian yang telah direview dapat dilihat pada Tabel 1.

3.1.2. Peran RFID dalam Transformasi Operasi Logistik

Literatur secara konsisten menggarisbawahi kemampuan RFID untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan rantai pasokan. Studi menekankan bahwa RFID memberikan visibilitas dan keterlacakan waktu nyata di semua tahap proses logistik, dari manajemen inventaris hingga pengiriman akhir. Misalnya, sistem yang mendukung RFID secara signifikan mengurangi kesalahan manual dalam penghitungan stok dan meningkatkan akurasi pelacakan inventaris, seperti yang dicatat dalam beberapa studi kasus yang melibatkan gudang skala besar dan rantai ritel. Selain itu, kemampuan RFID untuk memantau kondisi kargo—seperti suhu dan kelembapan—memastikan integritas barang-barang sensitif seperti obat-obatan dan barang yang mudah rusak.

3.1.3. Kemajuan dalam Integrasi RFID

Mengintegrasikan RFID dengan teknologi canggih, seperti blockchain dan IoT, memperkuat dampaknya pada keamanan logistik. Studi yang ditinjau mengungkapkan bahwa buku besar blockchain yang tidak dapat diubah melengkapi RFID dengan mengamankan data yang dikumpulkan selama transit, memastikan keasliannya, dan mengurangi risiko yang terkait dengan manipulasi atau penipuan. IoT semakin menyempurnakan sistem RFID dengan memungkinkan pertukaran data yang lancar antar perangkat, yang mendukung analisis prediktif dan pengambilan keputusan yang dinamis. Sinergi antara teknologi ini menciptakan ekosistem logistik cerdas yang mampu mengatasi kerentanan tradisional dalam manajemen rantai pasokan.

3.1.4 Tantangan yang Disorot dalam Literatur

Meskipun memiliki banyak kelebihan, implementasi RFID menghadapi tantangan yang

terus-menerus, seperti yang didokumentasikan dalam berbagai penelitian. Biaya infrastruktur yang tinggi, termasuk tag, pembaca, dan integrasi sistem, merupakan hambatan yang signifikan bagi usaha kecil dan menengah. Faktor lingkungan, seperti gangguan dari logam atau kondisi ekstrem, juga dapat memengaruhi kinerja tag RFID. Selain itu, kurangnya protokol standar untuk manajemen data dan privasi mempersulit proses adopsi, terutama di wilayah dengan persyaratan peraturan yang beragam. Mengatasi tantangan ini memerlukan kerangka kerja kolaboratif dan inovasi teknologi untuk memastikan aksesibilitas dan keandalan yang lebih luas.

Tinjauan pustaka mengungkap beberapa kesenjangan dalam badan penelitian saat ini. Pertama, ada bukti empiris terbatas pada manfaat ekonomi jangka panjang dari adopsi RFID, khususnya untuk industri skala kecil. Kedua, integrasi RFID dengan teknologi baru seperti AI dan pembelajaran mesin masih kurang dieksplorasi, meskipun potensinya untuk memprediksi dan mencegah anomali logistik. Ketiga, sebagian besar penelitian berfokus pada aplikasi skala besar di pasar maju, meninggalkan kesenjangan dalam memahami bagaimana RFID dapat disesuaikan dengan kebutuhan unik daerah berkembang seperti Batam.

Secara keseluruhan, literatur yang dikaji memvalidasi peran RFID sebagai alat transformatif dalam operasi logistik dan ritel, yang menawarkan akurasi, efisiensi, dan keamanan yang lebih baik. Namun, implementasi yang berhasil memerlukan penanganan hambatan yang terkait dengan biaya, kendala lingkungan, dan manajemen data. Integrasi RFID dengan teknologi pelengkap seperti blockchain dan IoT menghadirkan jalur yang menjanjikan untuk menciptakan sistem logistik yang tangguh, terukur, dan aman. Penelitian di masa mendatang harus difokuskan pada penjembatan kesenjangan yang teridentifikasi, memastikan bahwa teknologi RFID dapat diadaptasi secara efektif ke berbagai konteks operasional.

3.2 Pembahasan

Temuan dari tinjauan pustaka ini menggarisbawahi potensi signifikan teknologi RFID dalam mengubah operasi logistik dan ritel. Kemampuan RFID untuk menyediakan pelacakan waktu nyata dan akurasi inventaris, ditambah dengan integrasinya dengan teknologi canggih seperti blockchain dan IoT, memposisikannya sebagai alat penting untuk rantai pasokan modern. Namun,



tinjauan tersebut juga mengidentifikasi tantangan dan kesenjangan penelitian yang terus-menerus yang harus diatasi untuk memastikan keberhasilan adopsi.

Tinjauan tersebut mengungkap bahwa teknologi RFID meningkatkan efisiensi logistik dengan mengotomatiskan manajemen inventaris, meningkatkan keterlacakan kargo, dan mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh intervensi manual. Selain itu, integrasi IoT memungkinkan pemantauan dinamis terhadap kondisi kargo dan analisis prediktif, yang selanjutnya meningkatkan ketahanan operasional. Meskipun ada kemajuan ini, beberapa hambatan menghalangi adopsi RFID. Biaya awal yang tinggi terkait dengan infrastruktur, kepekaan terhadap faktor lingkungan, dan kurangnya protokol manajemen data yang terstandarisasi adalah tema yang berulang dalam studi yang ditinjau. Tantangan ini khususnya terlihat pada perusahaan kecil dan menengah dan di wilayah berkembang seperti Batam, di mana keterbatasan sumber daya membatasi kelayakan implementasi RFID skala besar.

Integrasi RFID dengan blockchain dan IoT merupakan contoh bagaimana konvergensi teknologi dapat mengatasi tantangan logistik tradisional. Buku besar terdesentralisasi Blockchain memastikan integritas data yang dihasilkan RFID, mengurangi risiko gangguan atau penipuan. Perangkat IoT meningkatkan konektivitas dan memungkinkan pertukaran data waktu nyata, yang memungkinkan pengambilan keputusan proaktif dalam operasi logistik. Namun, keberhasilan integrasi ini bergantung pada penanganan hambatan biaya dan memastikan kompatibilitas dengan sistem yang ada. Penelitian ini juga menyoroti perlunya solusi khusus wilayah yang disesuaikan dengan tantangan logistik unik dari negara berkembang. Di Batam, misalnya, ketergantungan yang tinggi pada perdagangan dan industri memerlukan sistem RFID yang hemat biaya yang dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat dan persyaratan peraturan. Penelitian di masa mendatang harus fokus pada pengembangan solusi RFID yang dapat diskalakan, memanfaatkan AI dan pembelajaran mesin untuk meningkatkan kemampuan prediktif dan efisiensi operasional.

Tabel 1. Ringkasan Jurnal yang Direview

No	Judul	Penulis	Fokus Utama	Tahun Terbit
1	Pengembangan Algoritma Pengurangan Kebisingan Baru untuk Sistem RFID Smart Checkout di Toko Ritel	Syamsul, Shazielya dkk. al [28]	Sistem berbasis RFID yang digunakan di konter kasir toko ritel	Tahun 2024
2	Pemenuhan omnichannel dan pelacakan RFID tingkat item dalam ritel mode	Ovezmyradov , Berdymyrat ., dkk. [29]	Omnichannel tanpa RFID; dan omnichannel dengan RFID	Tahun 2022
3	Pengisian ulang rak dengan RFID dan pemantauan ruang belakang di toko ritel	Condea , Cosmin., dan lain-lain [30]	RFID untuk operasi toko ritel	Tahun 2012
4	RFID dalam Logistik dan Produksi – Aplikasi, Penelitian dan Visi untuk Zona Logistik Cerdas	Kirch, Martin., dan lain-lain	Zona Logistik Cerdas dengan RFID	Tahun 2017
5	Peran teknologi identifikasi frekuensi radio (RFID) dalam meningkatkan operasi distribusi dan ritel dalam rantai pasokan mode	Bottani , E., dan lain-lain [31]	Identifikasi Frekuensi Radio (RFID), Rantai Pasokan Mode	Tahun 2014
6	Kerangka kerja cerdas yang terinspirasi dari Blockchain untuk pengendalian pencurian logistik	Alanazi , Abed., dan lain-lain [32]	RFID dengan Blockchain	Tahun 2025
7	Penerapan teknologi RFID dalam logistik	Popova, Irina, dan lainnya. [33]	Teknologi RFID dalam logistik transportasi dan pergudangan	Tahun 2021
8	Penelitian Algoritma Anti-Tabrakan pada Tag RFID pada Sistem Logistik	Zhou, Wei Hui., dan lainnya [34]	Tabrakan tag RFID dalam sistem logistik saat ini	Tahun 2019
9	Penginderaan berbasis RFID dalam kemasan pintar untuk aplikasi makanan: Tinjauan	Zuo , Jinsong ., dan lain-lain [35]	Sensor kelembaban, suhu, gas, pH, integritas, dan keterlacakan RFID untuk pengemasan makanan.	Tahun 2022
10	Jaringan pasokan optimal dengan inventaris yang dikelola vendor dalam sistem perawatan kesehatan dengan RFID	Almanaseer , Mohammed., dkk. [36]	RFID pada Sistem Manajemen Vendor di Sektor Kesehatan	Tahun 2024

4. KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan potensi transformatif teknologi RFID dalam mengatasi tantangan logistik kritis, khususnya dalam meningkatkan keamanan, efisiensi operasional, dan pemantauan waktu nyata. Integrasi RFID dengan teknologi canggih seperti blockchain dan IoT telah menciptakan ekosistem logistik cerdas yang mampu mengoptimalkan operasi rantai pasokan sambil memberikan solusi yang kuat untuk masalah seperti pencurian kargo dan integritas data. Namun, tingginya biaya infrastruktur, kendala lingkungan, dan kurangnya protokol standar tetap menjadi hambatan signifikan untuk adopsi yang meluas, khususnya di daerah dengan keterbatasan sumber daya seperti Batam. Mengatasi tantangan ini memerlukan upaya kolaboratif di antara para pemangku kepentingan, investasi dalam teknologi yang hemat biaya, dan menyesuaikan solusi dengan kebutuhan lokal.

Penelitian di masa mendatang harus difokuskan pada pengembangan sistem RFID yang terjangkau untuk usaha kecil dan menengah di wilayah berkembang, mengeksplorasi solusi perangkat keras dan perangkat lunak sumber terbuka untuk menurunkan biaya sambil mempertahankan keandalan. Ada juga kebutuhan untuk mengadaptasi sistem RFID untuk mengatasi kendala lingkungan, memastikan kinerja yang konsisten dalam lingkungan logistik yang menantang. Integrasi AI dan pembelajaran mesin dengan sistem RFID menghadirkan peluang untuk meningkatkan analisis prediktif dan deteksi anomali, yang memungkinkan respons waktu nyata terhadap gangguan. Selain itu, studi khusus wilayah, seperti yang difokuskan pada Batam, dapat memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti dan membangun kerangka kerja yang dapat diskalakan dan berkelanjutan untuk adopsi RFID yang lebih luas, yang pada akhirnya menetapkan praktik terbaik untuk logistik global dan manajemen rantai pasokan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Putera, A. R. Matondang, and M. T. Sembiring, "Rice distribution planning using distribution resources planning (DRP) method," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2471, no. 1, pp. 060002-1-060002-6, 2023, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0129254>.
- [2] D. A. Putera, "Pengendalian Persediaan Beras Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamis Di Perum Bulog Divre Sumut," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2021. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/47744>
- [3] D. A. Putera, A. A. Dermawan, D. E. Kurniawan, A. W. Aranski, and R. Dio, "Design of an Arduino Mega-Based Walking Cane Assistive Device to Improve the Quality of Life for the Elderly in the Riau Islands Province," *Sci. J. Informatics; Vol 10, No 4 Novemb. 2023DO - 10.15294/sji.v10i4.47793*, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/sji/article/view/47793>
- [4] V. Varriale, A. Cammarano, F. Michelino, and M. Caputo, "Sustainable Supply Chains with Blockchain, IoT and RFID: A Simulation on Order Management," *Sustainability*, vol. 13, no. 11, 2021. doi: 10.3390/su13116372.
- [5] M. Karthiga, D. Deepa, A. S. Sagayaraj, and C. S. Evangeline, "Secure Supply Chain Management using RFID-IoT," in *2023 Third International Conference on Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR)*, 2023, vol. 1, pp. 1-6. doi: 10.1109/STCR59085.2023.10397060.
- [6] P. J. Zelbst, K. W. Green, V. E. Sower, and P. L. Bond, "The impact of RFID, IIoT, and Blockchain technologies on supply chain transparency," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 31, no. 3, pp. 441-457, Jan. 2020, doi: 10.1108/JMTM-03-2019-0118.
- [7] A. Rejeb, K. Rejeb, S. Simske, and H. Treiblmaier, "Blockchain Technologies in Logistics and Supply Chain Management: A Bibliometric Review," *Logistics*, vol. 5, no. 4, 2021. doi: 10.3390/logistics5040072.
- [8] A. Cammarano, V. Varriale, F. Michelino, and M. Caputo, "Blockchain as enabling factor for implementing RFID and IoT technologies in VMI: a simulation on the Parmigiano Reggiano supply chain," *Oper. Manag. Res.*, vol. 16, no. 2, pp. 726-754, 2023, doi: 10.1007/s12063-022-00324-1.
- [9] J. Ferdousmou, M. Prabha, O. Farouk, and H. M. Sozib, "IoT-Enabled RFID in Supply Chain Management: A Comprehensive Survey and Future Directions," pp. 207-223, 2024, doi: 10.4236/jcc.2024.1211015.
- [10] M. Hussain *et al.*, "Blockchain-Based IoT Devices in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review," *Sustainability*, vol. 13, no. 24, 2021. doi: 10.3390/su132413646.
- [11] A. N. Barkah and D. Kartikasari, "Differences in Public Service Quality on the City Government and the Authority of Batam BT - Proceedings of the First International Conference on Applied Science and Technology (iCAST 2018)," 2020, pp. 95-98. doi: 10.2991/assehr.k.200813.023.
- [12] D. A. Putera, E. A. Rofii, A. Lawi, and R. Oktavia,

- “Enhancing Waste Management and Marine Ecosystem Protection for Tourism Sustainability on Buluh Island,” *BIO Web Conf.*, vol. 06010, no. 134, p. 15, 2024, doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413406010>.
- [13] BP Batam, “History of Batam,” *BP Batam*. p. 1, 2021. [Online]. Available: <https://bpbatam.go.id/en/about-batam/history-of-batam/>
- [14] S. Bachtiar, L. M. Limantara, M. Sholichin, and W. Soetopo, “Optimization of Integrated Reservoir for Supporting the Raw Water Supply,” *Civ. Eng. J.*, vol. 9, no. 4, pp. 860–872, 2023, doi: [10.28991/CEJ-2023-09-04-07](https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-04-07).
- [15] L. Vaccari, A. M. Coruzzolo, F. Lolli, and M. A. Sellitto, “Indoor Positioning Systems in Logistics: A Review,” *Logistics*, vol. 8, no. 4. 2024. doi: [10.3390/logistics8040126](https://doi.org/10.3390/logistics8040126).
- [16] A. Radovan, L. Mršić, G. Đambić, and B. Mihaljević, “A Review of Passenger Counting in Public Transport Concepts with Solution Proposal Based on Image Processing and Machine Learning,” *Eng.*, vol. 5, no. 4. pp. 3284–3315, 2024. doi: [10.3390/eng5040172](https://doi.org/10.3390/eng5040172).
- [17] H. Wang, S. Li, Y. Zhou, Y. Wang, R. Pan, and S. Pang, “Tag-Array-Based UHF Passive RFID Tag Attitude Identification of Tracking Methods,” *Sensors*, vol. 24, no. 19. 2024. doi: [10.3390/s24196305](https://doi.org/10.3390/s24196305).
- [18] K. Kan, S. Wang, Z. Liu, and X. Xiong, “Design and Implementation of Digital Calibration Certificate for RFID Tag Storage,” *Sensors*, vol. 24, no. 20. 2024. doi: [10.3390/s24206626](https://doi.org/10.3390/s24206626).
- [19] X. Xiong, W. Wang, T. Yang, and G. Mao, “A survey on RFID anti-collision strategies: From avoidance to recovery,” *Comput. Networks*, vol. 257, p. 110897, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110897>.
- [20] X. Xie *et al.*, “Passive wireless RFID strain sensor for directional-independent structural deformation monitoring,” *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 380, p. 116025, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.116025>.
- [21] F. Lenko, “Specifics of RFID Based Access Control Systems Used in Logistics Centers,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 55, pp. 1613–1619, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.151>.
- [22] S. I. Khan, B. R. Ray, and N. C. Karmakar, “RFID localization in construction with IoT and security integration,” *Autom. Constr.*, vol. 159, p. 105249, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105249>.
- [23] V. Varriale, A. Cammarano, F. Michelino, and M. Caputo, “Integrating blockchain, RFID and IoT within a cheese supply chain: A cost analysis,” *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 34, p. 100486, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100486>.
- [24] M. Baygin, O. Yaman, N. Baygin, and M. Karakose, “A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 188, p. 116030, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116030>.
- [25] A. Alanazi, A. Alqahtani, S. Alsubai, and M. Bhatia, “Blockchain-inspired intelligent framework for logistic theft control,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 234, p. 104055, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2024.104055>.
- [26] F. L. Țiplea, “Security and Privacy Requirements for RFID Schemes in Healthcare: Case Studies, Solutions, and Challenges,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 246, pp. 752–761, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.494>.
- [27] P. Helo and V. V. Thai, “Logistics 4.0 – digital transformation with smart connected tracking and tracing devices,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 275, p. 109336, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109336>.
- [28] S. Shamsul, M. A. H. Ali, S. H. Abdul-Rashid, A. M. Ghaleb, and F. M. Alqahtani, “Development of a Novel Noise Reduction Algorithm for Smart Checkout RFID System in Retail Stores,” *Comput. Mater. Contin.*, vol. 80, no. 1, pp. 1277–1304, 2024, doi: [10.32604/cmc.2024.049257](https://doi.org/10.32604/cmc.2024.049257).
- [29] B. Ovezmyradov and H. Kurata, “Omnichannel fulfillment and item-level RFID tracking in fashion retailing,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 168, no. March, p. 108108, 2022, doi: [10.1016/j.cie.2022.108108](https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108108).
- [30] C. Condea, F. Thiesse, and E. Fleisch, “RFID-enabled shelf replenishment with backroom monitoring in retail stores,” *Decis. Support Syst.*, vol. 52, no. 4, pp. 839–849, 2012, doi: [10.1016/j.dss.2011.11.018](https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.11.018).
- [31] E. Bottani, A. Volpi, A. Rizzi, R. Montanari, and M. Bertolini, *The role of radio frequency identification (RFID) technologies in improving distribution and retail operations in the fashion supply chain*. Woodhead Publishing Limited, 2014. doi: [10.1533/9780857098115.13](https://doi.org/10.1533/9780857098115.13).
- [32] A. Alanazi, A. Alqahtani, S. Alsubai, and M. Bhatia, “Journal of Network and Computer Applications Blockchain-inspired intelligent framework for logistic theft control,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 234, no. November 2024, p. 104055, 2025, doi: [10.1016/j.jnca.2024.104055](https://doi.org/10.1016/j.jnca.2024.104055).
- [33] I. Popova *et al.*, “Application of the RFID technology in logistics,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 57, pp. 452–462, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.072>.
- [34] W. H. Zhou, N. De Jiang, and C. C. Yan, “Research on Anti-Collision Algorithm of RFID Tags in Logistics System,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 154, pp. 460–467, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.06.065>.
- [35] J. Zuo *et al.*, “RFID-based sensing in smart



- packaging for food applications: A review,” *Futur. Foods*, vol. 6, p. 100198, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100198>.
- [36] M. Almanaseer, G. Zhang, and Z. Huang, “Optimal supply network with vendor managed inventory in a healthcare system with RFID,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 19, pp. 7–12, 2024, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.09.076.