JURNAL LITEK : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika
Vol. 23, No. 1, Maret 2026, pp. 17 – 23.
pISSN: 1693-8097; eISSN: 2549-8762.
Akreditasi Sinta 6, SK : 177/E/KPT/2024. DOI : https://doi.org/10.30811/litek.v23i1.100.

PENGARUH BENDA PENGHALANG TERHADAP PERFORMA JARAK DAN DETEKSI MODUL RFID RC-522

Sri Hartanto

Teknik Elektro, Universitas Krisnadwipayana
Email: srihartanto@unkris.ac.id

Corresponding Author : Sri Hartanto

Teknik Elektro, Universitas Krisnadwipayana
Email: srihartanto@unkris.ac.id

Abstrak – Teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) telah banyak digunakan dalam sistem keamanan, logistik, dan otomatisasi karena kemampuannya melakukan pembacaan data secara nirkontak. Namun, performa pembacaan RFID sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, khususnya keberadaan benda penghalang antara pembaca dan *tag*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis benda penghalang terhadap jarak pembacaan dan keberhasilan deteksi *tag* RFID menggunakan modul RFID RC-522 yang beroperasi pada frekuensi 13,56 MHz. Objek penelitian difokuskan pada pengujian beberapa jenis benda penghalang yang umum dijumpai sehari-hari dan dikelompokkan ke dalam dua kategori utama, yaitu benda non-konduktif (kertas, plastik, kayu, kain, kaca, dan air) serta benda konduktif (logam aluminium). Metode penelitian dilakukan secara eksperimental melalui pengujian pembacaan RFID pada variasi jarak 0–6 cm dengan interval 1 cm. Setiap pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan pada setiap jenis benda penghalang untuk memperoleh nilai rata-rata jarak maksimum pembacaan dan persentase keberhasilan deteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa benda penghalang, modul RFID RC-522 mampu membaca *tag* secara stabil hingga jarak 6,0 cm dengan tingkat keberhasilan 100%. Benda non-konduktif seperti kertas, plastik, kayu, dan kain hanya menyebabkan penurunan jarak pembacaan sebesar 5–15% dengan tingkat keberhasilan deteksi di atas 95%. Sebaliknya, air menurunkan jarak pembacaan secara signifikan hingga rata-rata 1,2 cm dengan keberhasilan deteksi 40%, sedangkan logam aluminium sepenuhnya menghalangi pembacaan *tag* dengan tingkat keberhasilan 0%. Hasil ini membuktikan bahwa sifat konduktivitas dan permitivitas benda penghalang berpengaruh signifikan terhadap performa pembacaan RFID RC-522.

Kata-kata kunci: RFID RC-522, jarak pembacaan, benda penghalang.

Abstract *– Radio Frequency Identification (RFID) technology has been widely used in security systems, logistics, and automation due to its ability to read data wirelessly. However, the performance of RFID readers is highly influenced by environmental conditions, particularly the presence of obstacles between the reader and the tag. This research aims to analyse the influence of the type of obstructing object on reading distance and the success of RFID tag detection using the RFID module RC-522 operating at a frequency of 13.56 MHz. The research object focuses on testing several types of common everyday obstructing objects, which are grouped into two main categories: non-conductive objects (paper, plastic, wood, fabric, glass, and water) and conductive objects (aluminium metal). The research method was conducted experimentally by testing RFID readings at varying distances of 0–6 cm with 1 cm intervals. Each test was performed five times for each type of obstructing object to obtain the average maximum reading distance and detection success rate. The research results show that in the absence of obstacles, the RFID RC-522 module can read tags stably up to a distance of 6.0 cm with a 100% success rate. Non-conductive materials such as paper, plastic, wood, and fabric only cause a 5–15% reduction in reading distance with a detection success rate above 95%. Conversely, water significantly reduces the reading distance to an average of 1.2 cm with a detection success rate of 40%, while aluminium metal completely blocks tag reading with a success rate of 0%. These results prove that the conductivity and permittivity properties of obstacles significantly affect the reading performance of the RFID RC-522.*

Keywords: RFID RC-522, reading distance, obstacle.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong kemunculan berbagai sistem identifikasi otomatis yang mempermudah proses pengenalan objek dan manajemen data di berbagai sektor. Sistem identifikasi berbasis elektronik berperan penting dalam mendukung efisiensi

Diserahkan : 18 Desember 2025 | Diperbaiki : 5 Januari 2026 | Diterima : 15 Januari 2026 | Dipublikasi : 1 Maret 2026.

operasional, khususnya di bidang industri, logistik, dan keamanan yang menuntut kecepatan serta akurasi dalam pengolahan informasi. Teknologi identifikasi otomatis seperti barcode, QR code, dan RFID menjadi tulang punggung dalam proses digitalisasi rantai pasok modern [1]. RFID memiliki keunggulan dibandingkan barcode karena mampu melakukan identifikasi tanpa kontak langsung dan membaca banyak *tag* secara simultan melalui komunikasi gelombang radio. Penerapan sistem RFID secara luas di lingkungan industri 4.0 menunjukkan peran penting teknologi ini dalam mendukung otomasi cerdas dan sistem terintegrasi berbasis *Internet of Things* (IoT) [2]. Pemanfaatan RFID terus meningkat karena kemampuannya menghemat waktu, menekan kesalahan manusia, dan meningkatkan keamanan operasional. Perubahan paradigma menuju sistem berbasis data nirkabel juga menjadikan RFID sebagai infrastruktur penting dalam ekosistem digital. Dengan kemampuan tersebut, RFID menjadi solusi identifikasi yang efisien untuk menghadapi tantangan transformasi digital di berbagai bidang [3].

RFID bekerja dengan memanfaatkan interaksi elektromagnetik antara *tag* dan pembaca untuk mentransfer data secara nirkabel. Sistem ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu *tag* yang menyimpan informasi, pembaca yang mengirim dan menerima sinyal radio, serta antena yang berfungsi sebagai media transmisi gelombang elektromagnetik [4]. Mekanisme kerja RFID melibatkan proses induksi elektromagnetik untuk frekuensi tinggi (HF) atau gelombang mikro untuk frekuensi ultra tinggi (UHF), sehingga memungkinkan identifikasi tanpa kontak fisik. Teknologi RFID digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, seperti pelacakan aset, sistem pembayaran tanpa tunai, dan pengawasan keamanan [5]. Kelebihan utama RFID terletak pada kemampuannya membaca data meskipun *tag* tidak berada dalam garis pandang langsung pembaca. Sistem ini juga memungkinkan pembacaan beberapa *tag* secara bersamaan dengan kecepatan tinggi, sehingga lebih efisien dibandingkan sistem identifikasi optik tradisional [6]. Dalam konteks penerapan industri, RFID berperan penting untuk meningkatkan transparansi dan efisiensi rantai pasok global. Dengan prinsip kerja tersebut, RFID menjadi fondasi utama bagi teknologi pelacakan modern yang adaptif terhadap perkembangan digitalisasi industri [7].

Kinerja sistem RFID dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal yang berhubungan dengan kondisi lingkungan di sekitar pembacaan *tag*. Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan pembaca dapat terpengaruh oleh jenis benda penghalang di sekitarnya, tingkat kelembapan, suhu, dan gangguan elektromagnetik dari perangkat lain [8]. Variasi benda penghalang di antara *tag* dan pembaca sering kali menyebabkan penurunan jangkauan pembacaan akibat perbedaan sifat konduktivitas dan konstanta dielektrik benda penghalang. Faktor seperti orientasi *tag* terhadap antena juga mempengaruhi kekuatan sinyal yang diterima, sehingga hasil pembacaan dapat berfluktuasi [9]. Kondisi lingkungan yang tidak ideal dapat menyebabkan distorsi gelombang radio, meningkatkan rasio kesalahan baca, dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Jenis benda penghalang yang bersifat konduktor, seperti logam, dapat memantulkan atau menyerap gelombang elektromagnetik, sedangkan benda penghalang dielektrik tinggi seperti air dapat menghambat propagasi sinyal RFID. Fenomena ini menyebabkan penurunan keberhasilan deteksi pembaca terhadap *tag*, terutama pada sistem RFID frekuensi tinggi [10].

Jenis benda penghalang di sekitar *tag* RFID memiliki pengaruh besar terhadap kualitas dan jarak pembacaan sinyal. Benda penghalang logam menyebabkan refleksi dan detuning pada antena, sedangkan cairan menyerap energi gelombang, mengakibatkan pembacaan menjadi tidak stabil atau gagal [11]. Perbedaan sifat fisik seperti konduktivitas, permitivitas, dan ketebalan benda penghalang menentukan tingkat pelemahan sinyal yang terjadi antara *tag* dan pembaca. Dalam penggunaan sehari-hari, kondisi lingkungan yang bervariasi seperti keberadaan benda logam di sekitar area pembacaan atau kontak *tag* dengan cairan dapat menurunkan performa sistem RFID secara signifikan. Penurunan keberhasilan deteksi tersebut menjadi kendala utama dalam implementasi RFID pada aplikasi praktis seperti kontrol akses, logistik, dan sistem keamanan [12]. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh berbagai jenis benda penghalang terhadap performa pembacaan RFID sangat penting untuk menemukan strategi mitigasi yang efektif. Evaluasi empiris terhadap interaksi antara sinyal radio dan benda penghalang penghalang memberikan dasar ilmiah untuk menentukan konfigurasi sistem yang optimal.

Modul RFID RC-522 adalah pembaca *tag* berbasis frekuensi tinggi 13,56 MHz yang banyak digunakan dalam sistem keamanan, otomasi pintu, dan proyek IoT berskala kecil. Modul ini memiliki kemampuan membaca *tag* standar ISO/IEC 14443-A, namun keberhasilan deteksinya sangat dipengaruhi oleh jarak, orientasi, serta jenis benda penghalang yang mengelilingi antena [13]. Dalam kondisi ideal, RC-522 dapat membaca *tag* pada jarak 3–6 cm, tetapi performanya menurun drastis ketika terdapat benda penghalang konduktif atau cairan di antara *tag* dan pembaca. Faktor lingkungan seperti kelembapan, logam, dan posisi *tag* menjadi penyebab utama variasi hasil pembacaan. Penelitian eksperimental terhadap modul ini penting dilakukan untuk memahami keterbatasannya serta mencari solusi penempatan dan desain sistem yang optimal [14]. Pengujian terhadap berbagai jenis benda penghalang sehari-hari memungkinkan evaluasi langsung sejauh mana hambatan benda penghalang mempengaruhi pembacaan RFID. Hasil dari pengujian dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi sistem dan memperluas jangkauan penggunaan RFID di lingkungan yang kompleks. Dengan demikian, pemahaman detail mengenai perilaku RC-522 dalam menghadapi variasi benda penghalang menjadi langkah penting dalam optimalisasi sistem RFID skala kecil.

Penerapan sistem identifikasi berbasis frekuensi radio menghadapi berbagai masalah ketika beroperasi pada lingkungan dengan variasi benda penghalang yang berbeda. Modul RC-522 sebagai pembaca RFID frekuensi tinggi banyak digunakan dalam aplikasi sederhana, tetapi performanya sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik sekitarnya. Hambatan utama muncul ketika sinyal elektromagnetik yang dipancarkan mengalami penyerapan, pantulan, atau gangguan akibat jenis benda penghalang yang memiliki karakteristik konduktif dan dielektrik berbeda [15]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan keberhasilan deteksi pembacaan, berkurangnya jarak deteksi, serta meningkatnya rasio kesalahan identifikasi. Oleh karena itu, peneltian ini dibatasi masalahnya pada kemampuan modul RFID RC-522 yang beroperasi pada frekuensi 13,56 MHz dalam mendeteksi *tag* kartu yang dihalangi beberapa jenis benda yang digolongkan ke dalam dua bagian utama, konduktif dan non-konduktif. Metode yang dilakukan dalam penelitian secara garis besar adalah melakukan percobaan pembacaan RFID dengan beberapa benda penghalang untuk mengevaluasi jarak maksimum pembacaan *tag* RFID dalam berbagai kondisi benda-benda penghalang seperti kertas, plastik, kayu, air sebagai benda penghalang non-konduktif serta logam sebagai benda penghalang konduktif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh berbagai jenis benda penghalang terhadap jarak dan keberhasilan deteksi *tag* RFID menggunakan modul RC-522. Evaluasi dilakukan dengan menguji sejumlah benda penghalang umum seperti kertas, plastik, kayu, logam, dan air untuk menentukan tingkat hambatan sinyal yang ditimbulkan. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran empiris tentang hubungan antara sifat benda penghalang dan keberhasilan deteksi pembacaan RFID. Penelitian semacam ini relevan bagi pengembangan sistem keamanan, otomasi industri, serta aplikasi berbasis IoT yang mengandalkan pembacaan RFID dalam kondisi lingkungan. Data hasil uji dapat digunakan sebagai referensi teknis untuk merancang konfigurasi antena dan posisi *tag* yang lebih efisien. Pengujian berbasis pendekatan eksperimental juga memberikan kontribusi terhadap pemahaman mekanisme interaksi elektromagnetik antara benda penghalang dan sinyal RFID. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah dalam penerapan RFID serta mendorong peningkatan kinerja modul RC-522 pada berbagai kondisi penggunaan praktis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) merupakan sistem identifikasi otomatis yang bekerja melalui komunikasi gelombang radio antara *tag* dan pembaca tanpa memerlukan kontak fisik. Sistem ini memiliki tiga komponen utama, yaitu *tag*, pembaca, dan antena yang berfungsi sebagai penghubung komunikasi data [16]. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan pembaca akan menginduksi arus pada antena *tag* untuk mengaktifkan sirkuit internal dan mengirimkan data identifikasi. RFID banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti logistik, keamanan, manajemen aset, dan sistem pembayaran nirsentuh karena efisiensi dan kecepatannya dalam proses identifikasi. Teknologi ini beroperasi dalam beberapa rentang frekuensi, yaitu *Low Frequency* (LF), *High Frequency* (HF), dan *Ultra-High Frequency* (UHF) [17].

Pada frekuensi tinggi 13,56 MHz, RFID bekerja dengan prinsip kopling induktif dimana energi dikirimkan melalui medan magnetik antara antena pembaca dan antena *tag*. Frekuensi ini banyak dipakai pada aplikasi jarak dekat seperti kartu akses, sistem absensi, dan keamanan pintu otomatis. Salah satu modul yang umum digunakan adalah RC-522 yang memiliki keunggulan konsumsi daya rendah, kompatibilitas luas dengan mikrokontroler, dan keberhasilan deteksi yang stabil pada jarak 3–6 cm [18]. Modul RFID RC-522 bekerja dengan sistem komunikasi nirkabel berbasis induksi elektromagnetik antara pembaca dan *tag* pasif. Ketika *tag* berada dalam jangkauan antena pembaca, modul menghasilkan medan magnetik yang menginduksi energi listrik pada *tag* untuk mengaktifkan chip penyimpan data. Proses transfer data dilakukan melalui modulasi amplitudo atau frekuensi, yang memungkinkan identifikasi secara unik tanpa kontak langsung. Keandalan komunikasi sangat bergantung pada faktor lingkungan seperti jarak, orientasi *tag*, serta interferensi elektromagnetik. RC-522 menggunakan chip MFRC-522 yang mendukung komunikasi ISO/IEC 14443A, menjadikannya kompatibel dengan kartu MIFARE dan aplikasi berbasis NFC [19].

Kinerja modul sangat dipengaruhi oleh efisiensi antena dan kondisi benda penghalang di sekitar sistem. Benda penghalang konduktif dapat menyerap atau memantulkan gelombang elektromagnetik, sedangkan benda penghalang dielektrik dapat mempengaruhi fase dan intensitas medan magnet. Studi eksperimental menunjukkan bahwa keberadaan logam dan cairan di sekitar antena RFID menurunkan keberhasilan deteksi dan mengurangi jarak pembacaan secara signifikan [20].

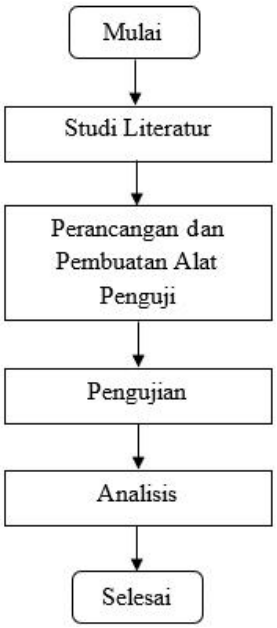
RFID beroperasi dalam berbagai pita frekuensi yang memiliki karakteristik propagasi berbeda. Frekuensi rendah (125–134 kHz) memiliki kemampuan penetrasi yang baik terhadap logam dan air, namun kecepatan transfer data rendah. Frekuensi tinggi (13,56 MHz) memiliki keseimbangan antara jarak pembacaan dan kecepatan transfer data, sedangkan frekuensi ultra-tinggi (860–960 MHz) memberikan jangkauan yang lebih luas namun lebih sensitif terhadap interferensi lingkungan. Modul RC-522 menggunakan frekuensi tinggi sehingga lebih cocok untuk sistem identifikasi jarak dekat yang memerlukan keakuratan tinggi [21].

Gelombang elektromagnetik pada pita HF dipengaruhi oleh parameter seperti permitivitas relatif benda penghalang, permeabilitas magnetik, serta konduktivitas listrik. Interaksi gelombang dengan benda penghalang di sekitarnya dapat mengubah intensitas medan magnetik yang diterima oleh *tag* RFID. Penurunan daya sinyal dapat mencapai lebih dari 50% ketika *tag* diletakkan di belakang benda penghalang

logam atau cairan elektrolit. Benda penghalang di sekitar sistem RFID memiliki pengaruh besar terhadap transmisi dan penerimaan sinyal. Benda penghalang logam dapat bertindak sebagai reflektor yang mengubah arah gelombang dan menimbulkan interferensi destruktif, sedangkan benda penghalang dielektrik seperti kertas, plastik, atau kayu hanya sedikit mempengaruhi daya sinyal. Penyerapan energi elektromagnetik oleh benda penghalang dengan konduktivitas tinggi menyebabkan medan magnet yang dibutuhkan untuk aktivasi *tag* berkurang, sehingga jarak pembacaan menjadi lebih pendek. Studi laboratorium menunjukkan bahwa benda penghalang konduktif dapat menurunkan efisiensi pembacaan hingga 90% dibandingkan benda penghalang isolator. Faktor kelembapan juga berperan penting karena air dan benda penghalang lembap memiliki konstanta dielektrik tinggi yang menyerap gelombang elektromagnetik. Benda penghalang berair dapat menyebabkan *tag* RFID tidak terbaca meskipun berada dalam jarak normal operasi. Teknologi RFID digunakan secara luas dalam sistem otomatisasi rumah, keamanan akses, logistik, serta pelacakan aset. Keunggulannya terletak pada kemampuan identifikasi cepat dan efisiensi operasional tinggi tanpa kontak langsung [15].

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan dengan bagan alir dalam Gambar 1 berikut. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan metode pengujian langsung terhadap modul RFID RC-522 untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis benda penghalang terhadap jarak dan keberhasilan deteksi *tag* RFID.



Gbr. 1 Bagan Alir Metode Penelitian

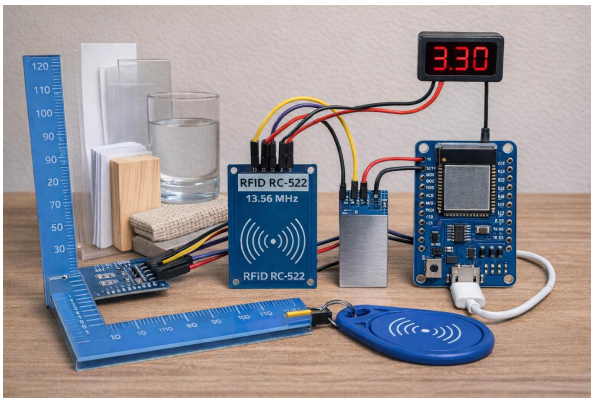
Pendekatan eksperimental dipilih karena memungkinkan pengamatan terukur terhadap hubungan antara variabel bebas (jenis benda penghalang) dan variabel terikat (jarak pembacaan dan tingkat keberhasilan deteksi). Desain eksperimen ini dikembangkan dengan mempertimbangkan variabel kontrol berupa kondisi lingkungan dan orientasi *tag* agar hasil pengukuran lebih akurat dan terulang. Peralatan utama yang digunakan adalah modul RFID RC-522 sebagai pembaca dengan frekuensi operasi 13,56 MHz, *tag* RFID jenis MIFARE Classic 1K sebagai transponder, serta mikrokontroler Wemos D1 R1 yang berfungsi sebagai pengolah data komunikasi serial. Selain itu, digunakan multimeter digital untuk memastikan kestabilan tegangan suplai 3,3 V dan penggaris digital untuk mengukur jarak pembacaan dalam satuan milimeter. Benda penghalang uji terdiri atas beberapa benda penghalang yang umum ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, meliputi kertas (70 gram), plastik (jenis polietilena), kayu (meranti kering), kain (katun), kaca, air, dan logam (aluminium). Pemilihan benda penghalang tersebut didasarkan pada karakteristik fisiknya yang berbeda, terutama dari sisi konduktivitas dan permitivitas listrik yang mempengaruhi transmisi medan elektromagnetik.

Penelitian ini menggunakan tiga kelompok variabel, yaitu:

1. Variabel bebas (independen): jenis benda penghalang yang diuji (kertas, plastik, kayu, kain, kaca, air, logam).
2. Variabel terikat (dependen): jarak maksimum pembacaan (cm), yaitu jarak terjauh antara modul RFID dan *tag* yang masih memungkinkan pembacaan data, keberhasilan deteksi (%), yaitu persentase keberhasilan modul dalam membaca *tag* pada jarak tertentu dari total percobaan yang dilakukan.
3. Variabel kontrol: tegangan suplai konstan (3,3 V), orientasi *tag* sejajar antena, kondisi lingkungan laboratorium dengan suhu 25–27°C, serta tanpa interferensi gelombang elektromagnetik eksternal.

Penetapan variabel tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pembacaan benar-benar disebabkan oleh sifat fisik benda penghalang penghalang. Pendekatan pengendalian variabel ini mengikuti standar uji sistem RFID berbasis pengukuran empiris

Gambar rangkaian pengujian diperlihatkan pada Gambar 2 berikut.



Gbr. 2 Rangkaian Pengujian Modul RFID RC-522

Langkah-langkah penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat rangkaian sistem RFID RC-522 yang terhubung dengan Wemos D1 R1 melalui komunikasi *Serial Peripheral Interface* (SPI).
2. Menguji terlebih dahulu sistem tanpa benda penghalang penghalang untuk menentukan jarak maksimum pembacaan ideal.
3. Meletakkan benda penghalang uji di antara antena pembaca dan *tag* RFID dengan ketebalan ±2 mm.
4. Melakukan pembacaan sebanyak lima kali untuk setiap benda penghalang pada jarak bertahap (0 cm hingga 6 cm).
5. Mencatat jarak maksimum dimana *tag* masih dapat dibaca serta menghitung persentase keberhasilan pembacaan.
6. Mengulangi prosedur untuk seluruh jenis benda penghalang, kemudian membandingkan hasilnya dengan kondisi tanpa penghalang.

Prosedur ini diadaptasi dari pendekatan pengujian sistem RFID berbasis pengukuran lapangan yang digunakan dalam penelitian interferensi benda penghalang terhadap performa antena. Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif deskriptif dengan membandingkan nilai rata-rata jarak pembacaan dan tingkat keberhasilan untuk setiap benda penghalang. Hasil pengukuran dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan antara jenis benda penghalang dengan jarak efektif pembacaan. Selain itu, dilakukan analisis persentase penurunan keberhasilandeteksi untuk mengidentifikasi tingkat pengeruh masing-masing benda penghalang terhadap performa sistem RFID.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap tujuh jenis benda penghalang sehari-hari yang berpotensi mempengaruhi jarak pembacaan dan keberhasilan deteksi *tag* RFID, yaitu kertas, plastik, kayu, kain, kaca, air, dan logam. Setiap benda penghalang diuji dengan ketebalan ±2 mm menggunakan metode pembacaan berulang sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai rata-rata jarak maksimal pembacaan *tag*. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian jarak maksimum pembacaan dan tingkat keberhasilan deteksi *tag* RFID untuk setiap benda penghalang penghalang yang diuji.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, benda penghalang non-konduktif seperti kertas, plastik, kayu, dan kain memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap jarak pembacaan modul RFID RC522. Penurunan jarak efektif hanya berkisar 0,2–0,8 cm dari kondisi ideal tanpa penghalang. Hal ini menunjukkan bahwa benda penghalang dengan konduktivitas rendah memiliki kemampuan transmisi medan magnet yang masih memadai. Sebaliknya, benda penghalang logam dan air menunjukkan dampak signifikan terhadap performa sistem, dengan jarak pembacaan menurun drastis hingga tidak terdeteksi. Fenomena tersebut disebabkan oleh kemampuan logam memantulkan dan menyerap energi elektromagnetik secara kuat, sementara air memiliki konstanta dielektrik tinggi yang menyebabkan peredaman sinyal.

TABEL I
Hasil Pengujian

No	Jenis Benda Penghalang	Rata-rata Jarak Maksimum (cm)	Keberhasilan Deteksi (%)	Keterangan
1	Tanpa benda penghalang	6,0	100	Pembacaan stabil
2	Kertas (70 gram)	5,8	100	Tidak menghalangi sinyal
3	Plastik (PE)	5,5	98	Sedikit reduksi daya sinyal
4	Kayu (meranti kering)	5,2	96	Sedikit melemahkan induksi
5	Kain (katun)	5,4	97	Tidak signifikan
6	Kaca	4,7	90	Memantulkan sebagian gelombang
7	Air (wadah tipis)	1,2	40	Menyerap medan elektromagnetik
8	Logam (aluminium)	0,0	0	Menghalangi sepenuhnya

Penurunan keberhasilan deteksi pembacaan RFID RC-522 pada penelitian ini dihitung berdasarkan pada persentase penurunan jarak maksimum pembacaan dibandingkan dengan kondisi ideal tanpa benda penghalang, dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\propto-\beta}{\propto}\times 100\% \quad (1)$$

dimana $\propto$ = jarak maksimum tanpa benda penghalang
β = jarak baca yang diperoleh dari penelitian.

Pada kondisi referensi, modul RFID RC-522 mampu membaca *tag* hingga jarak maksimum 6,0 cm dengan tingkat keberhasilan 100%. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung tingkat penurunan keberhasilan deteksi akibat keberadaan benda penghalang.

Untuk benda penghalang berupa air, hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak maksimum pembacaan rata-rata menurun menjadi 1,2 cm. Dengan menggunakan persentase penurunan jarak, yaitu:

$$\frac{6{,}0-1{,}2}{6{,}0}\times 100\% = 80\%$$

maka dapat disimpulkan bahwa air menyebabkan penurunan keberhasilan deteksi pembacaan sebesar 80%. Penurunan yang signifikan ini disebabkan oleh konstanta dielektrik air yang tinggi, sehingga sebagian besar energi medan elektromagnetik pada frekuensi 13,56 MHz terserap dan tidak dapat dimanfaatkan secara efektif untuk menginduksi *tag* RFID.

Sementara itu, pada benda penghalang non-logam seperti kertas, plastik, kayu, dan kain, jarak maksimum pembacaan berada pada rentang 5,2–5,8 cm. Jika dibandingkan dengan kondisi ideal, penurunan jarak pembacaan berkisar antara 0,2–0,8 cm, yang secara persentase setara dengan:

$$\frac{6{,}0 - (5{,}2 \text{ hingga } 5{,}8)}{6{,}0} \times 100\% \approx 5 - 15\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa benda penghalang non-konduktif hanya menyebabkan pelemahan medan magnet yang relatif kecil, karena tidak terbentuk arus induksi di dalam material tersebut. Oleh karena itu, energi elektromagnetik yang ditransmisikan masih cukup untuk mengaktifkan chip RFID pada jarak operasi normal.

Sebaliknya, pada benda penghalang logam, jarak pembacaan menurun hingga 0 cm dengan tingkat keberhasilan deteksi 0%. Kondisi ini merepresentasikan penurunan keberhasilan deteksi sebesar 100%, yang disebabkan oleh terbentuknya *eddy current* pada permukaan logam. Arus pusar tersebut menghasilkan medan magnet berlawanan yang secara efektif meredam induksi elektromagnetik dari antena pembaca, sehingga energi yang diterima *tag* menjadi nol dan proses pembacaan gagal sepenuhnya.

Hasil pengujiann menunjukkan bahwa jenis benda penghalang berperan penting terhadap kemampuan sistem RFID RC522 dalam melakukan pembacaan *tag*. Pada benda penghalang non-konduktif seperti kertas, plastik, dan kayu, gelombang elektromagnetik masih dapat menembus benda penghalang karena tidak ada arus induksi yang terbentuk di dalam benda penghalang tersebut. Hal ini menyebabkan hanya sedikit energi yang hilang saat propagasi medan magnet berlangsung. Kondisi ini selaras dengan prinsip kerja kopling induktif pada RFID frekuensi tinggi yang relatif stabil terhadap benda penghalang dengan konstanta dielektrik rendah.

Sebaliknya, benda penghalang logam dan air secara efektif memblokir transmisi energi magnetik. Pada logam, arus eddy yang terbentuk menimbulkan efek peredaman medan sehingga *tag* tidak menerima energi yang cukup untuk mengaktifkan chip internal. Sementara pada air, adanya ion-ion terlarut menyebabkan penyerapan energi elektromagnetik yang signifikan. Fenomena ini telah dijelaskan melalui model gelombang elektromagnetik pada medium dengan konduktivitas tinggi yang menunjukkan penurunan eksponensial daya sinyal terhadap jarak.

Secara umum, penelitian ini memperkuat teori bahwa efisiensi pembacaan RFID dipengaruhi oleh interaksi medan elektromagnetik dengan parameter fisis benda penghalang seperti konduktivitas, permitivitas, dan permeabilitas magnetik. Hasil pengujian menunjukkan adanya kesesuaian antara karakteristik fisik benda penghalang dan performa sistem RFID RC522.

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa benda penghalang konduktif seperti logam dan benda penghalang berair harus dihindari sebagai media penutup atau pelindung *tag* RFID, karena dapat menyebabkan kehilangan sinyal sepenuhnya. Sebaliknya, benda penghalang non-konduktif seperti kertas, plastik, dan kayu dapat digunakan tanpa mempengaruhi performa sistem secara signifikan. Hasil ini memiliki implikasi penting bagi penerapan RFID RC522 dalam sistem keamanan, absensi, dan kontrol akses.

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa modul RFID RC522 sangat bergantung pada karakteristik fisik benda penghalang yang berada di antara antena pembaca dan *tag* RFID. Benda penghalang non-konduktif seperti kertas, plastik, kayu, dan kain hanya menurunkan jarak pembacaan dalam kisaran 5–15% dari kondisi ideal. Hal tersebut disebabkan oleh rendahnya konduktivitas dan konstanta dielektrik benda penghalang-benda penghalang tersebut yang tidak banyak menyerap energi elektromagnetik. Sedangkan benda penghalang air memberikan efek penurunan jarak pembacaan hingga 80%. Sebaliknya, benda penghalang konduktif seperti logam memberikan efek penurunan keberhasilan deteksi hingga 100%, yang menyebabkan sistem tidak mampu melakukan pembacaan. Kondisi ini terjadi karena energi medan magnet yang dihasilkan oleh antena pembaca terserap dan dipantulkan oleh benda penghalang konduktif sehingga *tag* tidak memperoleh energi induksi yang cukup. Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa efektivitas deteksi RFID RC522 dapat dipertahankan optimal jika digunakan pada lingkungan dengan dominasi benda penghalang non-konduktif dan kondisi kelembapan rendah. Temuan ini memperkuat dasar ilmiah dalam desain sistem keamanan dan otomatisasi berbasis RFID pada frekuensi 13,56 MHz, terutama dalam penentuan tata letak antena dan pemilihan benda penghalang pelindung perangkat.

Untuk meningkatkan keandalan sistem RFID RC522 pada berbagai aplikasi, beberapa rekomendasi teknis perlu diperhatikan. Pertama, penempatan *tag* RFID sebaiknya tidak berdekatan dengan permukaan logam atau wadah cairan agar tidak terjadi peredaman sinyal. Kedua, penggunaan lapisan isolator non-konduktif seperti plastik atau karet di antara *tag* dan permukaan logam dapat membantu mempertahankan jarak pembacaan. Ketiga, pengujian lebih lanjut perlu dilakukan dengan variasi ketebalan benda penghalang dan kondisi kelembapan untuk memperoleh model matematis yang menggambarkan hubungan antara sifat benda penghalang dan performa pembacaan RFID.

REFERENSI

[1] Berutu, T. A., Sigalingging, D. L. R., Simanjuntak, G. K. V., & Siburian, F. (2024). Pengaruh Teknologi Digital Terhadap Perkembangan Bisnis Modern. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, *2*(3), 358-370.

[2] Hartanto, S. (2024). Simulasi Rancang Bangun

Monitoring Pemakaian Air PDAM di Gedung Bertingkat menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis IoT. *Jurnal Elektro (JETRO)*, *12*(1), 80-89.

[3] Riesnandar, E., & Nuhartonosuro, I. M. (2025). Implementasi Teknologi RFID dan Barcode dalam Optimalisasi Manajemen Inventaris Barang di Sektor Logistik. *Jurnal Akuntansi, Ekonomi Dan Manajemen Bisnis*, *5*(1), 154-168.

[4] Hartanto, S. (2021). Perbaikan Deteksi Alat Klasifikasi Kendaraan Otomatis Menggunakan Sensor Inframerah Tambahan. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, *3*(2), 189–195. https://doi.org/10.32493/epic.v3i2.7737.

[5] Akbar, K. E., Aminah, S., & Rifa'i, A. F. (2019). Ultra High Frequency RFID untuk Sistem Inventarisasi Gudang Berskala Besar. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, *11*(2), 121. https://doi.org/10.5614/joki.2019.11.2.5.

[6] Rahmah, R., & Juairiah, J. (2025). The Effect Self Service Technology Based Rfidpengaruh Layanan Mandiri Berbasis Teknologi RFID (Radio Frequency Identification) of Library User Satisfaction Level. *Interdisciplinary Explorations in Research Journal*, *3*(3), 1017–1028. https://doi.org/10.62976/ierj.v3i3.1470.

[7] Zhalifunnas, A., Fauzi, A., Wibowo, H. C., Sudjarwoko, A. A., & Muzakki, R. (2025). Penerapan dan Manfaat RFID dalam Manajemen Inventaris Industri Logistik serta Keterbatasannya. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*, *6*(6), 4215–4226. https://doi.org/10.38035/jemsi.v6i6.5597

[8] Insan, R. M., Ruuhwan, R., & Rizal, R. (2019). Penerapan Teknologi Radio Frequency Identification (RFID) pada Data Kunjungan Perpustakaan. *Informatics and Digital Expert (INDEX)*, *1*(1). https://doi.org/10.36423/ide.v1i1.281

[9] Parnasari, P., Nurhanisa, M., & Nugroho, B. S. (2022). Studi Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Pada Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit. *PRISMA FISIKA*, *10*(1), 98-104.

[10] Rozaq, I. A. (2021). Analisis Jarak Penggunaan RFID (Radio Frequency Identification) pada Prototipe Smart Home. *Power Elektronik*, *10*(1), 522913.

[11] Reza, M. (2019). Pemanfaatan Teknologi RFID Melalui Kartu Identitas untuk Lingkungan Kantor. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, *5*(3), 164. https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v5i3.135.

[12] Putera, D. A., & Putra, A. A. (2025). Potensi RFID dalam Logistik: Kajian Literatur dengan Fokus pada Pusat Perdagangan Batam. *SIGMA TEKNIKA*, *8*(1), 013-023.

[13] Suhandono, E. (2021). Perancangan dan Pembuatan Doorlock Sistem Otomatis Menggunakan Kartu e-KTP Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika (TEKINFO)*, *22*(1), 29-39.

[14] Eko, I. A. (2019). Sistem Keamanan Area Parkir STKIP PGRI Tulungagung Berbasis Radio Frequency Identification (RFID). *JoEICT (Journal of Education And ICT)*, *3*(1), 66–75.

[15] Zakaria, D., Mulya, T. S., Maharani, A. A. P., & Steven, M. (2024). RFID untuk Sistem Keamanan dan Pelacakan: Tinjauan Literatur. *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, *22*(1), 9-16.

[16] Setiadi, H., Priyandari, Y., & Cahyono, S. I. (2017). Implementation of Parking System Based on Radio Frequency Identification (RFID) at the Faculty of Engineering Sebelas Maret University. *ITSMART: Jurnal Teknologi dan Informasi*, *6*(1), 39-44.

[17] Chanafi, M. F. D., Hiron, N., Nursuwars, F. M. S., & Rahayu, A. U. (2022). Sistem Identifikasi Kendaraan dengan Teknologi RFID UHF berbasis Internet of Things: Vehicle Identification System with UHF RFID Technology Based on Internet of Things. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, *2*(2), 111-118.

[18] Pujiati, I. T., & Abadi, M. K. B. (2022). Implementasi RFID (Radio Frequency Identification) pada Sistem Data Bibliografi di UPT Perpustakaan Rumah Ilmu Universitas Negeri Semarang. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, *39*(2), 77-86.

[19] Primadhasa, A., Suhardi, & Triyanto, D. (2017). Sistem Manajemen Perpustakaan menggunakan Radio Frequency Identification (RFID). *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, *5*(3), 32-39.

[20] Hartanto, S., & Prabowo, A. D. (2021). Rancang Bangun Sistem Absensi dengan Pemeriksaan Suhu Tubuh Berbasis Arduino ATmega2560. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, *9*(3), 27-40.

[21] Wiharja, U., & Hartanto, S. (2024). Power and Waiting Time Efficiency at Automatic Toll Gates with the Contactless Card Payment Implementation. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, *42*(1), 1-8.