

RANCANG BANGUN SISTEM PEMINJAMAN PERALATAN LABORATORIUM TELEKOMUNIKASI BERBASIS IOT

Riadi Marta Dinata¹⁾, Elda Rayhana²⁾, Kurniawan Atmadja³⁾, Marhaeni⁴⁾, Niko Purnomo⁵⁾

¹⁾ Teknik Informatika, Institut Sains Dan Teknologi Nasional, ISTN, Jakarta,

²⁾ Fisika, Institut Sains Dan Teknologi Nasional, ISTN, Jakarta,

³⁾ Matematika, Institut Sains Dan Teknologi Nasional, ISTN, Jakarta,

⁴⁾ Sistem Informatika, Institut Sains Dan Teknologi Nasional, ISTN, Jakarta,
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia 12640

⁵⁾ Teknologi Informasi, Ilmu Komputer, Universitas Nusa Mandiri, Jakarta
Jl. Margonda No.545, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

e-mail: *riadimrt@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini merancang sistem peminjaman peralatan laboratorium berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan teknologi Near Field Communication (NFC) dan Bluetooth Low Energy (BLE). Sistem ini terdiri atas mikrokontroler ESP32, pembaca NFC, dan modul pelacak BLE, serta terhubung ke database Supabase dan antarmuka website untuk monitoring. Pengujian menunjukkan bahwa dari 13 tag NFC, 10 berhasil terbaca pada jarak maksimum 3 cm. Pengujian BLE menunjukkan konektivitas stabil hingga jarak 2 meter tanpa hambatan, dan menurun tajam dengan hambatan fisik. Evaluasi terhadap website menggunakan metode System Usability Scale menghasilkan nilai kelayakan sebesar 88,4 yang dikategorikan sangat baik. Hasil ini membuktikan bahwa sistem berhasil meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses peminjaman serta pemantauan alat secara real-time.

Kata kunci: NFC, BLE, ESP32, IoT, peminjaman alat laboratorium

ABSTRACT

This study developed an Internet of Things (IoT)-based laboratory equipment lending system using Near Field Communication (NFC) and Bluetooth Low Energy (BLE) technologies. The system integrated an ESP32 microcontroller, NFC reader, BLE tracker, and Supabase database with a web interface for real-time monitoring. Testing showed that 10 out of 13 NFC tags were successfully read at a maximum distance of 3 cm. BLE testing demonstrated stable connectivity up to 2 meters without physical obstacles, while signal strength decreased significantly with barriers. The system's website evaluation using the System Usability Scale method yielded a score of 88.4, indicating excellent usability. These results confirmed the system's effectiveness in improving the efficiency and accuracy of equipment lending and monitoring processes.

Keywords: NFC, BLE, ESP32, IoT, laboratory equipment lending

1. PENDAHULUAN

Laboratorium Telekomunikasi di Politeknik Negeri Jakarta menghadapi berbagai kendala terkait efisiensi dan dokumentasi akibat sistem peminjaman peralatan yang masih bersifat manual dan berbasis kertas. Pendekatan konvensional ini tidak hanya menghambat efisiensi operasional dan memerlukan ruang penyimpanan fisik yang besar, tetapi juga

kurang ramah lingkungan (Ariyanto, 2023). Proses inventarisasi manual yang melibatkan jumlah peralatan dalam skala besar terbukti meningkatkan beban kerja sumber daya manusia serta biaya operasional (Nasri et al., 2023). Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi solusi digital seperti penggunaan barcode, namun teknologi tersebut rentan terhadap kerusakan fisik (Restu & Soetodjo, 2023). Sementara itu,

teknologi RFID memiliki keterbatasan dalam jangkauan pembacaan dan tidak menyediakan antarmuka pengguna yang interaktif (Budiyanta & Eka, 2021).

Untuk mengatasi berbagai kekurangan tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan sistem peminjaman peralatan laboratorium berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini mengintegrasikan teknologi Near Field Communication (NFC) untuk identifikasi peralatan secara cepat, akurat, dan tahan lama. NFC dianggap lebih unggul dalam hal kemudahan penggunaan, keamanan, dan efisiensi biaya (Rifqi & Wardhani, 2020). Sebagai fitur pendukung, sistem juga dilengkapi dengan teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) untuk pelacakan aset secara real-time di dalam ruangan, sehingga meningkatkan keamanan dan meminimalkan risiko kehilangan. Seluruh proses mulai dari peminjaman, pemantauan status, hingga pengembalian peralatan dikelola melalui platform berbasis web. Website ini dirancang untuk memudahkan akses pengguna, khususnya mahasiswa, dan menyediakan dashboard komprehensif bagi administrator untuk memverifikasi permintaan, mengelola data, serta memantau riwayat peminjaman. Tujuan utama sistem ini adalah menghadirkan proses yang terotomatisasi, efisien, dan terdokumentasi dengan baik untuk mengoptimalkan manajemen aset laboratorium.

2. METODE PENELITIAN

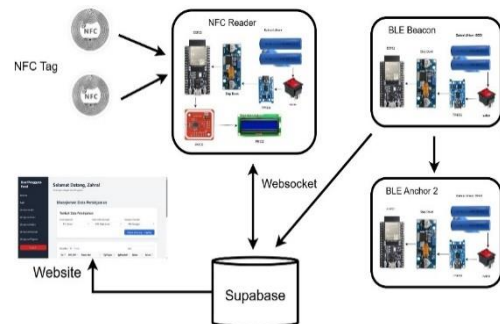
2.1 Perancangan Sistem

Sebelum melakukan pengujian dan analisis terhadap sistem peminjaman peralatan laboratorium berbasis IoT pada Laboratorium Telekomunikasi, diperlukan tahap perencanaan atau perancangan sistem. Tahap ini mencakup deskripsi perangkat, mekanisme operasional, spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta rancangan pengujian yang akan digunakan selama proses pengembangan sistem.

2.2 Alur Kerja Sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram blok yang menggambarkan susunan komponen dalam sistem manajemen data berbasis teknologi NFC. Proses dimulai dengan penggunaan NFC NTag sebagai wireless tag. Untuk pengisian daya baterai lithium-ion, sistem menggunakan modul TP4056.

Selanjutnya, data dari NFC NTag dibaca oleh modul PN532, yang kemudian terhubung ke mikrokontroler ESP32. ESP32 berfungsi sebagai unit utama pemrosesan data dan mendukung konektivitas Wi-Fi maupun Bluetooth.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

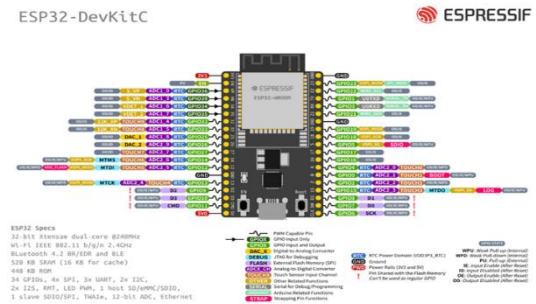
ESP32 berkomunikasi dengan sistem backend menggunakan WebSocket protokol komunikasi ringan untuk pertukaran pesan serta Supabase, yang berfungsi sebagai basis data real-time dan menangani autentikasi pengguna. Hasil pemrosesan ditampilkan melalui LCD I2C yang menunjukkan informasi status, serta LED sebagai indikator visual. Selain itu, sistem terintegrasi dengan aplikasi website berbasis mobile, sehingga pengguna dapat berinteraksi dan memantau kinerja sistem secara *real-time*.

3. STUDI LITERATUR

Penelitian sebelumnya menjadi rujukan penting dalam pengembangan sistem peminjaman peralatan laboratorium, sekaligus membantu menghindari duplikasi topik penelitian. Restu dan Soetodjo (2023) merancang sistem peminjaman berbasis RFID yang terintegrasi dengan website untuk membantu petugas laboratorium dalam mengelola peminjaman peralatan secara lebih efisien. Eriya et al. (2020) mengembangkan sistem manajemen inventaris menggunakan teknologi barcode untuk mengotomatisasi proses pelacakan dan pengelolaan peralatan. Sementara itu, Budiyanta dan Budiyanta (2021) membangun platform berbasis web untuk peminjaman peralatan dan manajemen aset yang mendukung peminjaman secara online maupun langsung di tempat.

Penelitian ini memperkenalkan pendekatan baru berbasis IoT dengan mengintegrasikan teknologi NFC dan BLE ke dalam sistem peminjaman peralatan laboratorium. NFC digunakan untuk menyimpan data peralatan secara digital dan menghubungkannya ke sistem web, sedangkan BLE memungkinkan pelacakan aset secara real-time untuk meningkatkan efisiensi proses peminjaman (Kuncoro et al., 2020). Saat ini, banyak sistem peminjaman peralatan masih bergantung pada prosedur manual, yang mengharuskan mahasiswa berkomunikasi langsung dengan petugas untuk keperluan verifikasi dan pencatatan (Ariyanto, 2023; Aminah et al., 2020). Oleh karena itu, sistem otomatis diperlukan untuk mencatat proses peminjaman secara digital. Pemantauan berkelanjutan juga dibutuhkan untuk memastikan kelancaran operasional, mengidentifikasi potensi masalah, dan meningkatkan efektivitas manajemen sistem (Wantoro et al., 2021; Fadly et al., 2020). Proses ini mencakup evaluasi rutin terhadap data input dan output untuk mendukung analisis lebih lanjut (Nurhidayat et al., 2024).

Pencatatan aktivitas pengguna memungkinkan administrator memantau interaksi dalam sistem secara transparan dan akuntabel (Budiarti et al., 2022). Karena data historis bersifat time-series dan sering berjumlah besar, pemilihan solusi basis data yang tepat menjadi sangat penting (Hendra & Andriyani, 2020). Mikrokontroler ESP32, yang memiliki dua inti pemrosesan (dual-core) serta konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, banyak digunakan dalam aplikasi IoT. Dukungan terhadap berbagai protokol komunikasi seperti SPI, I2C, dan UART menjadikan ESP32 sangat fleksibel untuk berbagai kebutuhan pengembangan (Ulandari et al., 2023).

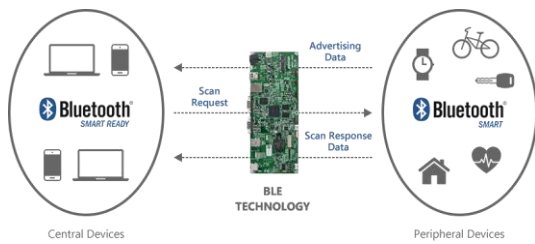


Gambar 2. Mikrokontroler ESP-32

Modul ini mendukung Wi-Fi 802.11 b/g/n dengan kecepatan transfer data hingga 150 Mbps, beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz, dan dilengkapi dengan memori SPI Flash sebesar 4 MB. Modul ini bekerja pada rentang tegangan 3,0–3,6 V dan mampu beroperasi dalam kondisi suhu ekstrem mulai dari -40°C hingga 85°C (Kusumah & Pradana, 2020). Near Field Communication (NFC) memungkinkan komunikasi jarak dekat antarp perangkat (4–10 cm) pada frekuensi 13,56 MHz, dengan kecepatan transmisi data mencapai 424 kbit/s (Harimurti et al., 2020; Mushaddiq et al., 2020; A. P. & Setiawan, 2020). Teknologi NFC meningkatkan proses peminjaman peralatan dengan mempercepat pencatatan data serta menyediakan tiga mode operasi, yaitu reader/writer, peer-to-peer, dan card emulation (Putra & Laksana, 2024; Rifqi & Wardhani, 2020).

Modul PN532 digunakan untuk membaca tag NFC melalui protokol komunikasi SPI. Modul ini kompatibel dengan Arduino UNO dan dapat diimplementasikan menggunakan pustaka seperti NDEF dan PN532 (Ruttala et al., 2021; Rifqi & Wardhani, 2020). Tag NFC berfungsi sebagai transponder pasif yang menyimpan berbagai jenis data dan diakses melalui medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh pembaca NFC (Coskun et al., 2024; Rifqi & Wardhani, 2020). LCD karakter 16x2 adalah tampilan kristal cair yang membutuhkan backlight dan beroperasi pada input 5 V. Untuk menyederhanakan komunikasi antar perangkat, modul I2C digunakan (Santoso, 2022; Gabriel & Kuria, 2020; Kuria et al., 2020). Selain itu, Real-Time Location Systems (RTLS) memungkinkan pelacakan objek atau individu secara real-time dalam suatu ruang tertentu dengan menggunakan teknologi

seperti Bluetooth Low Energy (BLE) (Djamil, 2020).



Gambar 3. Teknologi BLE (*Bluetooth Low Energy*)

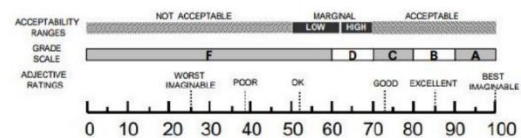
Bluetooth Low Energy (BLE) bekerja dengan secara berkala mengirimkan data melalui *beacon* ke perangkat penerima. Parameter utama yang digunakan meliputi UUID, RSSI, serta nilai *Major* dan *Minor* (Nugraha et al., 2024; Rizaldi et al., 2020a, 2020b). *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) merupakan indikator kekuatan sinyal dalam satuan desibel (dB), di mana nilai yang mendekati 0 menunjukkan sinyal yang lebih kuat. Parameter ini dapat dipantau menggunakan aplikasi pada *smartphone* (Rizaldi et al., 2020c; Masrura & Rahmadya, 2020). *Buck converter* berfungsi sebagai konverter DC-DC *step-down* dan dikenal memiliki efisiensi tinggi karena tidak menggunakan transformator. Komponen ini mengatur tegangan keluaran menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) (Azhari & Aswardi, 2020).

Arduino IDE adalah lingkungan pemrograman untuk papan Arduino yang berbasis bahasa C++. IDE ini dilengkapi dengan editor, kompilator, dan *uploader*, sehingga mudah digunakan terutama bagi pemula berkat penggunaan pustaka internal yang disederhanakan (Santoso, 2022; Sulaiman, 2021). WebSocket merupakan protokol berbasis TCP yang memungkinkan komunikasi dua arah secara simultan (*full-duplex*). Protokol ini terintegrasi dengan baik dalam sistem web karena berjalan melalui port HTTP standar (Alviando et al., 2023; Putra et al., 2023). *System Usability Scale* (SUS) digunakan untuk mengevaluasi tingkat

kegunaan sebuah sistem. Skor berkisar antara 0 hingga 100 dan diinterpretasikan menggunakan *letter grade* serta *adjective rating* (Wijayanto et al., 2023).

Tabel 1. Kriteria Persentil dan Nilai Huruf yang Sesuai

Kelas	Nilai	Percentile
A	$\geq 80,3$	$\geq 90\%$
B	≤ 74 sampai $< 80,3$	$70\% \leq$ sampai $< 90\%$
C	≤ 68 sampai < 74	$40\% \leq$ sampai $< 70\%$
D	≤ 51 sampai < 68	$20\% \leq$ sampai $< 40\%$
F	< 51	$< 20\%$



Gambar 4. Adjective Rating dan Rentang Keterterimaan (*Acceptability Range*)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Pengujian

4.1.1 Prosedur Pengujian

Pengujian dimulai dengan menghubungkan modul NFC PN532 ke mikrokontroler ESP32, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pemindaian tag NFC yang dipasangkan pada setiap instrumen laboratorium. Setelah sebuah tag berhasil terbaca, data UID-nya dikirimkan ke server melalui protokol WebSocket dan ditampilkan pada antarmuka website. Sistem juga diuji untuk memastikan kestabilan koneksi serta akurasi status peminjaman yang ditampilkan pada antarmuka web. Pengujian dilakukan menggunakan laptop Lenovo Ideapad Slim 5i dan peramban Google Chrome. Skema pengujian mencakup skenario peminjaman dan pengembalian peralatan, serta simulasi tapping NFC tanpa menyelesaikan pengisian formulir.

4.1.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pembacaan NFC terhadap 13 instrumen laboratorium

menunjukkan bahwa deteksi UID berhasil dilakukan pada sebagian besar perangkat pada jarak ≤ 3 cm. Namun, ketika jarak ditingkatkan menjadi 5 cm, sebagian besar tag gagal terbaca, menunjukkan keterbatasan teknologi NFC dalam hal jangkauan. Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Tapping NFC

No.	Nama Alat	UID NFC	Jarak Terdeteksi Tag (cm)	
1	Multimeter Analog	45D4882EE6E80	0	✓
B	≤ 74 sampai $< 80,3$	70% $\leq$ sampai $< 90\%$	3	✓
C	≤ 68 sampai < 74	40% $\leq$ sampai $< 70\%$	5	✗
2	DC power supply instek GPS-3030	4122F82EE6E81	0	✓
F	< 51	$< 20\%$	3	✓

Selanjutnya, dilakukan pengujian tapping setelah pengguna menyelesaikan formulir permintaan peminjaman pada website. Sistem memberikan respons yang sesuai terhadap tag yang dikenali dengan menampilkan pesan konfirmasi peminjaman yang berhasil, sementara tag yang tidak terdaftar ditolak oleh sistem. Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Tapping Setelah Pengisian Formulir

No.	Nama Alat	UID	Respons sistem
1	Osiloskop 200MHz	48e4982ee6e80	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, Osiloskop 200MHz Sukses Peminjaman"
2	Function Generator 10MHz	42e5282ee6e80	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, Function Generator"

3	DC Power Supply	4122f82ee6e81	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, DC Power Supply Sukses Peminjaman"
4	Multimeter	45d4882ee6e80	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, Multimeter Sukses Peminjaman"
5	Distortion Analyzer	4Be4882ee6e80	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, Tidak Dikenali"

Website juga menampilkan informasi secara *real-time* ketika peralatan berhasil dipinjam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

No	UID_NFC	Nama Alat	TglPinjam	TglKembali	Status	Lokasi
1	-	Proses	03-07-2025 04:42	-	Proses	out range
2	4122f82ee6e81	DC Power Supply instek GPS 3030	03-07-2025 02:40	-	Dipinjam	in range
3	45d4882ee6e80	Multimeter Analog	03-07-2025 02:39	-	Dipinjam	in range
4	4b5482ee6e80	Function Generator 10MHz	03-07-2025 02:36	-	Dipinjam	in range
5	48e4982ee6e80	Osiloskop 200MHz	03-07-2025 02:36	-	Dipinjam	in range

Gambar 5. Antarmuka Website Saat Proses Peminjaman Peralatan

Selanjutnya, sistem diuji kembali untuk memverifikasi proses pengembalian peralatan. Sebagian besar peralatan berhasil dikenali, dan statusnya diperbarui menjadi "Dikembalikan," sementara satu tag ditolak karena tidak terdaftar dalam basis data. Hasilnya disajikan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Tapping untuk Pengembalian Peralatan

No.	Nama Alat	UID	Respons sistem
1.	Osiloskop 200MHz	48e4982ee6e80	Menampilkan "Kartu Terdeteksi, Osiloskop 200MHz Sukses"

			Kembali”
2.	Function Generator 10MHz	42e5282ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Function Generator 10MHz Sukses Kembali”
3.	DC Power Supply	4122f82ee6e81	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, DC Power Supply Sukses Kembali”
4.	Multimeter	45d4882ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Multimeter Sukses Kembali”
5.	Distortion Analyzer	4Be4882ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Tidak Dikenali”

2.	Function Generator 10MHz	42e5282ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Silakan isi Form”
3.	DC Power Supply	4122f82ee6e81	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Silakan isi Form”
4.	Multimeter	45d4882ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Silakan isi Form”
5.	Distortion Analyzer	4Be4882ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Tidak Dikenali”

4.1.3 Analisis Data

Secara keseluruhan, tingkat keberhasilan pembacaan NFC mencapai 76,9% dari total 13 tag yang diuji. Beberapa tag tidak terbaca, kemungkinan karena tidak terdaftar dalam basis data. Pada skenario peminjaman dan pengembalian, sistem mencatat tingkat keberhasilan sebesar 80% untuk masing-masing proses. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik, meskipun masih diperlukan peningkatan dalam pembaruan basis data dan mekanisme validasi UID.

4.2 Pengujian Pelacakan BLE

4.2.1 Hasil Pengujian

Pengujian BLE dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana jarak dan hambatan fisik memengaruhi kekuatan sinyal (RSSI). Sinyal tetap kuat pada jarak kurang dari 2 meter tanpa halangan, namun melemah secara signifikan pada jarak 3 meter atau lebih, atau ketika terhalang oleh objek fisik seperti meja. Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Pengujian BLE dengan 1 Anchor dan 1 Beacon

No.	Jarak Beacon ke Anchor (meter)	RSSI (dBm)	Hambatan Fisik	Status
1.	<0,5 meter	-34 dBm	Tidak ada	In range
2.	1 meter	-57 dBm	Tidak ada	In range
3.	2 meter	-79 dBm	Tidak ada	In range
4.	3 meter	-118	Tidak ada	Out

Gambar 6. Antarmuka Website Saat Proses Pengembalian Peralatan

Untuk memastikan validasi sistem berjalan dengan benar, dilakukan juga simulasi *tapping* tanpa mengisi formulir peminjaman. Sistem menampilkan peringatan yang meminta pengguna untuk menyelesaikan pengisian formulir terlebih dahulu, menunjukkan kemampuan sistem dalam mengelola alur peminjaman secara terstruktur. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Tapping Tanpa Pengisian Formulir

No.	Nama Alat	UID	Respon sistem
1.	Osiloskop 200MHz	48e4982ee6e80	Menampilkan “Kartu Terdeteksi, Silakan isi Form”

		dBm		range
5.	1 meter	Tidak	Meja	Out
		Terbaca		range
6.	2 meter	Tidak	meja	Out
		terbaca		range

4.2.2 Analisis Data

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sinyal BLE bekerja secara optimal pada jarak pendek tanpa hambatan fisik. Hambatan seperti meja menyebabkan sinyal tidak dapat terbaca, bahkan pada jarak yang dekat. Oleh karena itu, penempatan *anchor* BLE harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan untuk memastikan pelacakan aset yang akurat dan stabil.

4.3 Website Testing

4.3.1 Functional Suitability

Website diuji berdasarkan dua komponen utama: halaman login dan halaman peminjaman peralatan. Sebanyak 13 skenario pengujian dilakukan, mencakup berbagai kombinasi input valid dan tidak valid. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 12 dari 13 skenario berhasil dijalankan dengan baik. Tabel 7 dan Tabel 8 menyajikan hasil pengujian untuk kedua halaman tersebut.

Tabel 7. Hasil Pengujian Halaman Login

No.	Test Case	Input	Expected Output	Status
1	Login Berhasil	Username : 1 Password : 123	Redirect ke halaman dashboard	✓
2	Username benar, password salah	Username : 1 Password : 124	Pesan Error: "ID User atau Password Salah"	✓
3	Username salah, password benar	Username : 0 Password : 123	Pesan Error: "ID User atau Password Salah"	✓
4	Username & password	Username : 0 Password : 123	Pesan Error: "ID User atau"	✓

	salah	Username	Password	Salah"
5	Field username kosong	: (Kosong)	Pesan Error: "Please Fill Out this field"	✓
6	Field Password kosong	: 1	Pesan Error: "Please Fill Out this field"	✓
7	Field Username & Password kosong	: (Kosong)	Pesan Error: "Please Fill Out this field" muncul di 2 field	✗
8	Input sangat panjang	Username : 123 Password : 12345	Pesan Error: "ID User atau Password Salah"	✓

Tabel 8. Hasil Pengujian pada Halaman Peminjaman Peralatan

No.	Test Case	Input	Expected Output	Status
1	Menampilkan data peminjaman	Akses halaman	Tabel daftar peminjaman tampil lengkap dan sesuai database	✓
2	Kolom pencarian berfungsi	Ketik Alat/UID/NC tertentu	Tabel hanya menampilkan baris yang relevan dengan kata kunci pencarian	✓
3	Akses halaman saat database kosong	Tidak ada data di tabel peminjaman pada supabase	Halaman tetap tampil dengan tabel kosong	✓
4	Cek tampilan responsi	Buka halaman dari berbagai ukuran layar	Tabel menyesuaikan layout dan tetap	✓

f	(mobile/tablet/desktop)	terbaca
5	Cek respon tombol tapping	Mengisi Data Dosen, Mata Kuliah Dan Ruangannya. Lalu tekan tombol tapping

Analisis dari pengujian ini dirangkum dalam Tabel 9, yang menunjukkan tingkat keberhasilan keseluruhan sebesar 92,3%.

Tabel 9. Rekapitulasi Kasus Uji Website

No.	Aspek yang Dianalisis	Halaman Login	Halaman Peminjaman	Total Keseluruhan
1.	Jumlah Test Case	8	5	13
2.	Jumlah Test Case Berhasil	7	5	12
3	Jumlah Test Case Gagal	1	0	1
4	Persentase Keberhasilan	87,5%	100%	92,3%
5.	Error Rate	12,5%	0%	7,7%

4.3.2 Kegunaan (Usability)

Pengujian usability dilakukan menggunakan metode System Usability Scale (SUS) dengan melibatkan 8 responden. Nilai rata-rata SUS yang diperoleh adalah 88,4, yang termasuk dalam kategori “excellent” dan sesuai dengan Grade B menurut skala interpretasi SUS.

Tabel 10. Hasil Responden untuk Pengujian Usability

No.	Responden	Pertanyaan
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

1	Zakiyyah Durrotul	5	1	5	2	5	2	5	1	2	5
2	Mulyant o	4	1	5	2	4	2	5	2	3	4
3	Calista Shafa Hana	3	2	3	2	3	2	3	2	4	3
4	Riski Isnawati	3	1	5	1	5	1	5	1	2	5
5	Akmal	3	4	2	4	4	2	3	5	5	2
6	Fidela Puri	5	2	5	1	5	1	5	2	4	4
7	Fathi Nashwa	5	1	5	1	5	1	5	1	1	5
8	Hari	4	2	5	1	5	1	5	1	5	5

Tabel 11. Rekapitulasi Pengolahan Data Usability

No.	Responden	Pertanyaan	Jumlah	Nilai: Jumlah x 2.5
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		
1	Zakiyyah Durrotul	4 4 4 3 4 3 4 4 3 4	37	92.5
2	Mulyant o	3 4 4 3 5 3 4 3 3 3	35	87.5
4	Calista Shafa Hana	2 3 2 3 2 3 2 3 3 2	25	62.5
5	Riski Isnawati	2 4 4 4 4 4 4 4 3 4	37	92.5
6	Akmal	3 4 2 4 4 2 3 5 5 2	34	85
7	Fidela Puri	4 3 4 4 4 4 4 3 3 4	37	92.5
8	Fathi Nashwa	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	40	100
9	Hari	3 3 4 4 4 4 4 4 4 4	38	95
Jumlah SUS				707.5
Nilai rata-rata SUS (Jumlah SUS/Jumlah Responden)				88,4

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem website tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga dianggap mudah digunakan dan nyaman bagi para pengguna.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem peminjaman peralatan

laboratorium berbasis IoT yang mengintegrasikan teknologi NFC dan BLE telah menunjukkan kinerja yang efektif. NFC memungkinkan identifikasi peralatan secara otomatis dengan tingkat keberhasilan pembacaan sebesar 76,9% dari 13 tag yang diuji, dan bekerja secara optimal pada jarak hingga 3 cm. Sementara itu, pengujian BLE menunjukkan konektivitas yang stabil pada jarak kurang dari 2 meter tanpa hambatan, meskipun sinyal melemah atau hilang pada jarak 3 meter atau ketika terhalang oleh objek fisik. Dari sisi perangkat lunak, website sistem menunjukkan performa yang baik dengan skor usability rata-rata sebesar 88,4, yang diklasifikasikan sebagai “excellent.” Untuk pengembangan selanjutnya, direkomendasikan penambahan anchor BLE agar akurasi pelacakan meningkat, serta penerapan fitur notifikasi otomatis untuk meningkatkan keamanan peralatan dan efisiensi penggunaannya di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, N., Sunarya, Y., & Hadiatiningsih, D. (2020). Sistem peminjaman alat praktikum di laboratorium berbasis manual.
- Ariyanto, R. (2023). Analisis dan perancangan sistem dokumentasi peminjaman peralatan laboratorium Laporan tugas akhir tidak dipublikasikan Politeknik Negeri Jakarta.
- Azhari, R., & Aswardi, A. (2020). Desain dan implementasi buck converter pada sistem embedded.
- Budiyanta, D., & Eka, N. (2021). Pengembangan sistem peminjaman berbasis RFID dengan antarmuka pengguna grafis. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 26(1), 34–42.
- Budiyanta, D., & Budiyanta, N. E. (2021). Rancang bangun sistem peminjaman dan manajemen aset laboratorium berbasis implementasi RFID dan website web.
- Budiarti, D., Sabella, D., & Hafidz, M. (2022). Penerapan pencatatan aktivitas pengguna untuk penguatan keamanan sistem.
- Coskun, V., Ozdenizci, B., & Ok, K. (2024). *Near field communication: From theory to practice* (2nd ed.).
- Djamal, M. (2020). *Penerapan RTLS dalam sistem monitoring dan pelacakan objek berbasis nirkabel*.
- Eriya, R., Setiawan, A., Maulana, H., & Sari, D. (2020). Sistem manajemen inventaris laboratorium otomatis menggunakan barcode.
- Fadly, A., Muryana, M., & Priandika, A. (2020). Peran monitoring dalam pengelolaan program kegiatan.
- Gabriel, S., & Kuria, M. (2020). Basic operation and structure of liquid crystal displays.
- Harimurti, M., Kurniawan, D., & Nurwarsito, A. (2020). Pemanfaatan teknologi NFC pada perangkat mobile.
- Hendra, I., & Andriyani, T. (2020). Pengelolaan data time series untuk sistem pemantauan berbasis waktu nyata.
- Kuncoro, M., Kusuma, D., & Purnomo, A. (2020). *Pengelolaan laboratorium dan keselamatan kerja*.
- Kuria, M., Robinson, D., & Gabriel, S. (2020). Design principles of LCD technology for embedded systems.
- Kusumah, R., & Pradana, R. (2020). Spesifikasi dan karakteristik modul ESP32 untuk aplikasi IoT.
- Masrura, N., & Rahmadya, M. (2020). Pengukuran kekuatan sinyal RSSI pada perangkat mobile.
- Mushaddiq, M., Munadi, Y., & Irawan, D. (2020). Karakteristik dan prinsip kerja NFC untuk aplikasi digital.

- Nasri, N., Ali, A., Rifai, R., Abdalla, A., & Faraj, F. (2023). Impact of manual inventory systems on operational costs in academic laboratories. *Journal of Educational Technology Management*, 15(2), 45–52.
- Nugraha, D., Putri, A., & Pratama, R. (2024). Sistem pelacakan lokasi dan aset berbasis BLE.
- Nurhidayat, A., Rumanti, R., & Supratman, B. (2024). Sistem monitoring dan evaluasi berbasis data terintegrasi.
- Putra, A., dkk. (2023). Penerapan WebSocket pada sistem monitoring berbasis IoT.
- Putra, I., & Laksana, I. (2024). Pengembangan sistem informasi pendataan sarana dan prasarana laboratorium di Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Bali Disertasidoktoral.
- Rifqi, M., & Wardhani, V. S. (2020). A comparative analysis of NFC and RFID technology in secure proximity-based interactions. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 18(5), 68–75.
- Rifqi, M., & Wardhani, N. (2020). Integrasi NFC PN532 pada sistem otomatisasi berbasis Arduino.
- Rifqi, M., & Wardhani, N. (2020). Pemanfaatan NFC tag dalam sistem komunikasi nirkabel berbasis smartphone.
- Rifqi, M., & Wardhani, N. (2020). Tantangan dan kendala implementasi NFC dalam berbagai sektor.
- Rizaldi, F., Pambudi, A., & Bariyah, M. (2020a). Implementasi parameter beacon BLE dalam sistem navigasi indoor.
- Ruttala, S., Balamurugan, L., & Chakravarthi, R. (2021). Application of PN532-based NFC module in embedded systems.
- Santoso, A. (2022a). *Pengenalan LCD 16x2 dan I2C dalam sistem mikrokontroler*.
- Santoso, A. (2022b). *Pengenalan Arduino IDE untuk pemula*.
- Sulaiman, R. (2021). Pembelajaran mikrokontroler berbasis Arduino.
- Ulandari, R., Siregar, A., Pramana, D., Sugianto, A., & Utomo, E. (2023). Pemanfaatan ESP32 untuk sistem otomatisasi dan monitoring berbasis IoT.
- Wantoro, T., Samsugi, A., & Suharyanto, H. (2021). *Evaluasi proyek dan monitoring kinerja organisasi*.
- Wijayanto, B., Kumarahadi, Y., & Prabowo, A. (2023). Evaluasi kegunaan sistem informasi menggunakan metode SUS.
- Alviando, T., Bhawiyuga, A., & Kartikasari, E. (2023). WebSocket sebagai protokol komunikasi web real-time.
- Ariyanto, R. (2023). Manajemen inventaris alat praktikum dalam mendukung efektivitas laboratorium.
- D. E. Restu, M., & Soetodjo, R. (2023). Sistem peminjaman barang dan peralatan di Laboratorium Elektro ITN Malang berbasis RFID (radio frequency identification).
- Restu, R., & Soetodjo, S. (2023). Kelemahan penggunaan barcode pada sistem inventaris aset bergerak. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Informatika* (hlm. 102–107).
- Rizaldi, F., Pambudi, A., & Bariyah, M. (2020). Implementasi parameter beacon BLE dalam sistem navigasi indo.