

TRANSFORMASI LIMBAH KAYU MENJADI SMART LOCKER BERBASIS ARDUINO DAN RFID

Juliasari Prasetya¹, Nuskha Ilma Arini²

^{1,2}Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal, Indonesia

Penulis Koresponden: nuskha.arini@poltek-furnitur.ac.id

ABSTRAK

Industri furnitur di Indonesia menghasilkan volume limbah kayu yang signifikan, mencapai 25–30% dari total bahan baku yang diolah. Sebagian besar limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal dan seringkali hanya dibuang atau dibakar, sehingga menimbulkan masalah lingkungan dan pemborosan sumber daya alam. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan model pengelolaan limbah potongan kayu yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, meningkatkan nilai ekonomi dan daya saing produk limbah kayu, serta mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada produk loker penyimpanan. Metode penelitian meliputi tahap perancangan desain loker, pembuatan prototipe menggunakan bahan limbah *plywood*, perakitan sistem elektronik berbasis Arduino Uno dan RFID RC522, hingga pengujian fungsionalitas sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *smart locker* yang dikembangkan mampu berfungsi sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan autentikasi RFID sebesar 100% pada jarak efektif ≤ 3 cm. Dari aspek material, penggunaan limbah kayu meningkatkan efisiensi biaya produksi hingga 33% dan mendukung konsep *circular economy* di industri furnitur. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya berhasil mengintegrasikan teknologi IoT dan RFID ke dalam furnitur berbasis limbah kayu, tetapi juga menghasilkan model *smart eco-furniture* yang efisien, ramah lingkungan, serta berpotensi dikembangkan dalam skala pendidikan vokasi dan industri kreatif.

Kata Kunci: *Internet of Things, Smart Locker, RFID, Limbah Kayu*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 08-12-2026

Tanggal terbit : 09-01-2026

Kutipan:

Prasetya, J., & Arini, N. I. TRANSFORMASI LIMBAH KAYU MENJADI SMART LOCKER BERBASIS ARDUINO DAN RFID. INFOTECH Journal, 12(1), 17–24. <https://doi.org/10.31949/infotech.v12i1.16827>

1. PENDAHULUAN

Industri furnitur di Indonesia terus bertumbuh dan menghasilkan limbah kayu yang signifikan setiap tahunnya. Limbah tersebut berupa sisa potongan kayu dari proses pemotongan dan penggergajian. Menurut data dari Kementerian Kehutanan, produksi kayu bulat di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 55,52 juta m³, dan limbah kayu yang dihasilkan dari industrinya mencapai sekitar 50% dari angka tersebut (Firdausi et al., 2022). Tingginya proporsi limbah ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan bahan baku kayu dalam proses produksi furnitur masih belum optimal.

Sebagian besar limbah tersebut berasal dari sisa potongan kayu pada proses produksi furnitur, limbah kayu sisa potongan yang dihasilkan mencapai 25–30% dari volume bahan baku kayu log yang diolah (Sutarman, 2016). Peningkatan limbah ini turut disebabkan oleh semakin ketatnya regulasi ekspor kayu olahan serta perkembangan industri kayu lapis dan mebel yang memperbesar volume produksi (Khasanah, 2023).

Sebagian besar limbah kayu tersebut hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan seringkali hanya dibiarkan menumpuk, dibuang, atau dibakar (Arini et al., 2025; Nugroho et al., 2020; Sutarman, 2016; Untari et al., 2024). Kondisi ini menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan seperti pencemaran udara dan tanah, serta berkontribusi pada pemborosan sumber daya alam, mengingat hutan alam sebagai pemasok bahan baku kayu semakin menipis dan harga kayu terus meningkat (Sutarman, 2016; Untari et al., 2024). Oleh sebab itu, perlu upaya serius dalam mengelola dan mengolah limbah kayu sisa potongan menjadi produk bernilai tambah yang tidak hanya mampu mengurangi limbah produksi tetapi juga dapat menjadi sumber pendapatan bagi masyarakat (I. F. B. Sulistyono et al., 2022).

Upaya pengelolaan limbah kayu sangat penting untuk mengurangi beban lingkungan sekaligus mengoptimalkan potensi ekonomisnya. Beberapa program pelatihan dan pendampingan telah sukses mengubah limbah kayu menjadi beragam produk bernilai jual, seperti furnitur, produk kerajinan gantungan kunci, rak dinding, kotak perhiasan, aksesoris, hingga peralatan rumah tangga (Arini et al., 2025; Nugroho et al., 2020; I. F. B. Sulistyono et al., 2022; Sutarman, 2016). Selain itu, limbah serbuk kayu telah dimanfaatkan sebagai bahan baku energi alternatif seperti briket arang, arang aktif, bahkan asap cair sebagai bahan pengawet pertanian atau makanan (Firdausi et al., 2022; Sutarman, 2016). Inovasi-inovasi ini tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi limbah kayu namun juga menciptakan lapangan kerja baru di level UMKM dan *home industry* (B. Sulistyono et al., 2021; Untari et al., 2024).

Seiring berkembangnya teknologi, pemanfaatan limbah kayu tidak lagi terbatas pada produk konvensional, tetapi juga dapat dikembangkan

melalui pendekatan berbasis teknologi digital dan *Internet of Things* (IoT). Konsep IoT memungkinkan objek fisik untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet sehingga mendukung proses pemantauan dan pengendalian secara *real-time* (Hussein, 2019). Implementasi IoT pada produk berbasis kayu telah ditunjukkan, salah satunya melalui pengembangan *smart marker box* berbasis IoT yang mampu meningkatkan nilai fungsional dan daya saing produk (Arini et al., 2025).

Dalam konteks sistem keamanan dan penyimpanan, teknologi IoT banyak diintegrasikan dengan mikrokontroler Arduino dan sistem identifikasi *Radio Frequency Identification* (RFID). Penelitian Dewi et al. (2025) menunjukkan bahwa sistem akses pintu berbasis RFID yang terintegrasi dengan pemantauan berbasis web mampu meningkatkan tingkat keamanan sekaligus memungkinkan pencatatan aktivitas akses secara *real-time*. Temuan ini diperkuat oleh Sanjaya dan Jaya (2023) yang mengembangkan *smart locker* berbasis IoT menggunakan Arduino dan RFID-RC522, serta modul ESP8266, yang mampu memberikan notifikasi keamanan kepada pengguna dan pengelola melalui aplikasi telegram secara *real-time*. Lebih lanjut, Mahardika et al. (2023) menegaskan bahwa penggunaan RFID pada sistem loker perpustakaan yang terintegrasi dengan basis data MySQL mampu meminimalkan risiko kehilangan kunci dan meningkatkan keamanan barang pengguna. Sistem serupa juga dikembangkan oleh Fahrudi & Faizal (2022), yang menunjukkan bahwa loker berbasis *smart card* RFID mampu beroperasi secara andal dalam proses buka dan tutup pintu loker serta memberikan informasi status penggunaan kepada pengguna. Integrasi RFID dengan Arduino terbukti memberikan sistem keamanan yang lebih efisien dibandingkan kunci konvensional, sebagaimana ditunjukkan pula pada penelitian Fathiah et al. (2025) terkait *smart door lock* berbasis RFID dan sensor gerak.

Berdasarkan kajian tersebut, salah satu pengembangan yang prospektif adalah pemanfaatan limbah kayu sebagai material utama *smart locker* berbasis Arduino dan RFID yang terintegrasi dengan IoT. Dengan integrasi ini, *smart locker* tidak hanya berfungsi sebagai produk penyimpanan berbahan limbah kayu, tetapi juga sebagai sistem keamanan cerdas yang memungkinkan kontrol akses digital dan pemantauan penggunaan secara *real-time*. Sistem ini memiliki keunggulan dibandingkan loker konvensional yang masih menggunakan kunci manual dan rentan terhadap kehilangan kunci maupun pencurian (I. F. B. Sulistyono et al., 2022; Sutarman, 2016).

Berdasarkan permasalahan tersebut dan merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan sistem loker otomatis berbasis Arduino dan RFID dengan memanfaatkan limbah kayu sebagai material utama. Produk yang dihasilkan berupa *smart locker* yang dirancang untuk

penyimpanan tas dan jaket di lingkungan perpustakaan dan perkantoran. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan nilai guna limbah kayu, tetapi juga mendukung diversifikasi produk kreatif berbasis limbah yang sejalan dengan prinsip *zero waste* dan pengembangan industri ramah lingkungan (I. F. B. Sulistyono et al., 2022; Sutarman, 2016). Transformasi limbah kayu menjadi *smart locker* berbasis IoT diharapkan mampu meningkatkan daya saing produk lokal, mengedukasi masyarakat mengenai pentingnya daur ulang, serta mendorong terbentuknya ekosistem industri furnitur yang inovatif, digital, dan berkelanjutan di Indonesia.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen menggunakan model prototipe. Tahapan perancangan prototipe loker otomatis berbasis Arduino Uno dan RFID menggunakan limbah kayu sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi komprehensif melalui studi literatur. Proses ini melibatkan kajian mendalam terhadap berbagai artikel ilmiah, jurnal penelitian, dan publikasi akademik yang berkaitan dengan topik penelitian. Fokus utama studi literatur mencakup tiga topik utama yaitu pengolahan limbah kayu, perancangan *smart locker*, dan implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem keamanan.

Berdasarkan studi literatur, sistem *smart locker* berbasis RFID dan IoT telah banyak dikembangkan dengan variasi platform dan fitur. Pradana & Wiharto (2020) mengembangkan *smart locker* berbasis RFID dengan modul komunikasi tambahan yang mampu memberikan waktu respons akses yang cepat, namun penggunaan perangkat tambahan berdampak pada peningkatan biaya dan konsumsi daya sistem. Penelitian lain oleh Sanjaya & Jaya (2023) serta Fahrudi & Faizal, (2022) menunjukkan bahwa integrasi RFID dan IoT mampu meningkatkan keamanan dan kemudahan pemantauan, tetapi umumnya masih menggunakan material loker konvensional dan konfigurasi perangkat yang relatif kompleks.

Berbeda dengan penelitian terdahulu tersebut, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama dengan konfigurasi perangkat yang lebih sederhana dan memanfaatkan limbah kayu sebagai material loker. Pendekatan ini memungkinkan pengurangan biaya pembuatan tanpa mengurangi fungsi utama sistem keamanan dan kontrol akses. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi sebagai alternatif *smart locker* yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan tetap kompetitif dibandingkan

sistem *smart locker* berbasis RFID dan IoT yang telah dikembangkan sebelumnya.

b. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan yang meliputi penentuan jenis Arduino dan RFID yang akan digunakan, perancangan desain *smart locker* yang meliputi skema rangkaian dan peletakan komponen, serta perancangan perangkat lunak yang meliputi algoritma dan alur program.

c. Persiapan Komponen

Pada tahapan ini dilakukan persiapan komponen-komponen yang dibutuhkan, meliputi:

- Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler pusat. Dalam sistem *smart locker*, Arduino Uno berperan kritis dalam memproses data dari RFID reader, keypad, dan mengontrol komponen output seperti solenoid dan LCD. Konektivitas antar komponen dilakukan menggunakan kabel jumper, memungkinkan komunikasi yang presisi antara sensor dan mikrokontroler.
- RFID untuk identifikasi. RFID beroperasi pada frekuensi 13.56 MHz, memungkinkan pembacaan kartu dalam jarak kurang dari 5 cm (Pradana & Wiharto, 2020). Teknologi ini memungkinkan akses aman dengan cara menempelkan kartu RFID pada *reader*, yang selanjutnya akan diverifikasi oleh sistem
- *Solenoid lock* sebagai pengunci elektronik dan dikontrol oleh Arduino melalui *relay*.
- Komponen pendukung lainnya seperti relay, LCD, adaptor, dan kabel jumper

Dibandingkan dengan penelitian *smart locker* lain yang menambahkan sensor tambahan atau modul komunikasi yang kompleks, konfigurasi komponen pada penelitian ini dirancang lebih sederhana sehingga berimplikasi biaya perakitan yang lebih efisien.

d. Pembuatan Prototipe

Tahapan pembuatan prototipe meliputi *hardware* dan *software*. Prototipe *hardware* meliputi pembuatan konstruksi loker, perakitan modul IoT, dan mengintegrasikan semua komponen sesuai dengan perancangan. Sedangkan pada tahapan pembuatan *software* meliputi konfigurasi *interface* LCD, pengembangan algoritma pembacaan RFID, serta perancangan protokol komunikasi IoT.

e. Integrasi dengan IoT

Pada tahap ini, proses konfigurasi dan konektivitas sistem yang dilakukan antara lain:

- Registrasi ID kartu
- Pengaturan platform IoT
- Pengujian konektivitas antara Arduino dengan IoT

f. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara komprehensif meliputi:

- Verifikasi pembacaan kartu RFID
- Validasi pengiriman data ke platform IoT
- Implementasi dan optimasi sistem
- Evaluasi dan perbaikan sistem

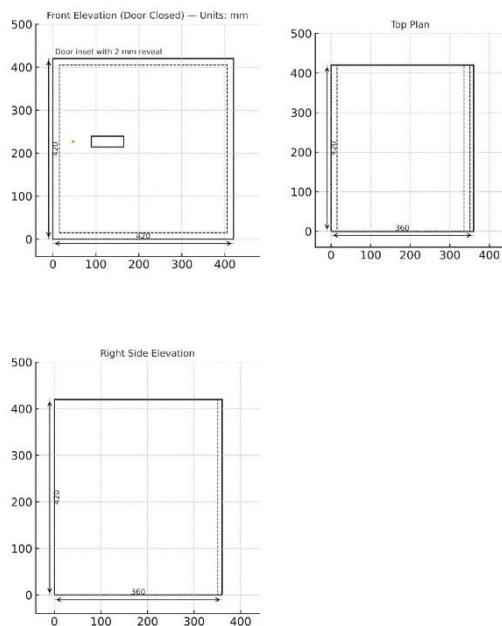
g. Analisis

Tahapan evaluasi sistem dilakukan untuk mengevaluasi apakah sistem sudah berfungsi dengan baik. Jika sistem belum sempurna, dilakukan perbaikan pada tahap pemrograman Arduino.

3. PEMBAHASAN

3.1. Perancangan Sistem

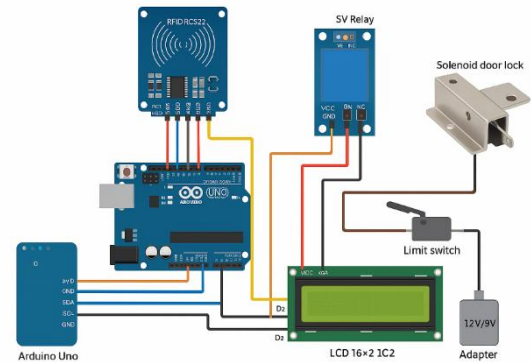
Desain fisik sistem *smart locker* dibuat dalam bentuk lemari penyimpanan modular berukuran 420 x 420 x 360 mm, terdiri dari 2 kompartemen penyimpanan yang tersusun dalam satu kolom dan dua baris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Struktur utama loker menggunakan papan kayu limbah olahan (*recycle plywood*) sebagai upaya penerapan prinsip *green manufacturing* dalam industri furnitur.



Gambar 1. Desain 2D *smart locker*

Loker dilengkapi satu unit *solenoid door lock* yang dikendalikan secara otomatis oleh mikrokontroler Arduino Uno, serta sensor pendukung berupa *limit*

switch untuk mendeteksi kondisi pintu (terbuka/tertutup). Di sisi depan, dipasang modul RFID RC522 yang berfungsi sebagai pembaca identitas pengguna (*ID card*) dan LCD 16x2 dengan antarmuka I2C untuk menampilkan informasi status sistem seperti “Loker Terbuka” saat pintu loker terbuka, “Akses Ditolak” saat kartu RFID tidak terdaftar, atau “Sistem aktif, tempelkan kartu” yang menunjukkan kondisi loker *stand by*.



Gambar 2. Skema rangkaian sistem *smart locker*

Skema rangkaian sistem digambarkan pada Gambar 2, yang menunjukkan hubungan antar komponen secara terintegrasi.

1. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima input dari modul RFID dan *limit switch*, kemudian memproses data untuk mengontrol *relay* dan *solenoid lock*.
2. Modul RFID RC522 dihubungkan melalui pin SPI (MOSI, MISO, SCK, dan SS) untuk membaca ID kartu pengguna.
3. Modul *Relay* bertugas sebagai saklar elektronik untuk menghubungkan atau memutuskan daya menuju *solenoid door lock* sesuai sinyal keluaran dari Arduino.
4. LCD 16x2 I2C digunakan sebagai indikator status operasi sistem, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Tujuan utama dari perancangan perangkat lunak adalah mengatur interaksi antara perangkat keras, pengguna, dan platform IoT agar sistem dapat beroperasi secara otomatis dan aman. Untuk merancang jalannya sistem, perlu dibuat algoritma sistem untuk memudahkan alur berpikir dalam pembuatan sintak program. Algoritma sistem dikembangkan berdasarkan logika berikut:

- Inisialisasi Sistem

Sistem melakukan pengecekan awal (*self-check*) terhadap modul RFID, *relay*, *solenoid*, dan koneksi Wi-Fi. Jika semua modul terdeteksi normal, LCD menampilkan pesan “Sistem aktif, tempelkan kartu”.

- Autentikasi Pengguna

Pengguna menempelkan kartu RFID pada pembaca (RFID reader). Arduino memproses data ID yang diterima dan membandingkannya dengan database yang tersimpan dalam memori. Jika ID valid, sistem mengaktifkan relay untuk membuka *solenoid door lock* dan LCD menampilkan pesan “Loker Terbuka”. Jika ID tidak valid, LCD menampilkan pesan “Akses Ditolak”, dan pintu tetap terkunci.

- *Monitoring Status Loker*

Setelah akses diberikan, sensor *limit switch* memantau apakah pintu benar-benar terbuka atau tertutup. Jika dalam waktu tertentu pintu tidak tertutup kembali, sistem akan memberikan peringatan bunyi.

3.2. Pembuatan Prototipe *Smart Locker*

Pembuatan prototipe merupakan tahap penting dalam proses pengembangan sistem *smart locker*, yang berfungsi untuk memvalidasi rancangan desain, menguji fungsionalitas komponen, serta memastikan integrasi antara aspek mekanik dan elektronik berjalan sesuai dengan spesifikasi perancangan. Secara umum, proses ini meliputi dua bagian utama, yaitu pembuatan struktur fisik loker, perakitan sistem elektronik berbasis Arduino dan RFID, serta pemrograman sistem loker.

Tahap pembuatan produk smart loker dilakukan dengan menekankan kepresisian pemotongan, efisiensi perakitan, dan kualitas estetika hasil akhir. Langkah-langkah proses pembuatan produk sebagai berikut:

1. Pemilihan Material dan Komponen *Fitting*

Proses diawali dengan pemilihan material kayu dan perlengkapan *fitting* yang sesuai dengan desain. Material utama yang digunakan adalah papan *plywood* karena memiliki karakteristik ringan, mudah dibentuk, dan merupakan material hasil olahan limbah kayu yang ramah lingkungan. Komponen *fitting* yang digunakan meliputi paku tembak, engsel sendok penuh (*full hinge*), dan knop pintu ergonomis.

2. Pemotongan Material

Papan *plywood* dipotong sesuai ukuran desain yang telah ditentukan menggunakan *table saw*. Proses pemotongan mengikuti ukuran desain gambar kerja agar menghasilkan kesesuaian dimensi antar komponen.

3. Perakitan

Setelah seluruh potongan kayu siap, dilakukan proses perakitan menggunakan paku tembak. Gambar 3 menunjukkan proses perakitan komponen menjadi sebuah produk loker. Setiap bagian disusun menjadi rangka utama loker yang terdiri atas sisi kanan, kiri, dasar, atap, sekat antar kompartemen, serta panel belakang.



Gambar 3. Proses perakitan

4. Proses Pengamplasan dan Pelapisan Permukaan

Kerangka loker yang telah terbentuk kemudian diampelas secara menyeluruh untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan serat kayu tajam. Setelah itu, permukaan dilapisi menggunakan *High Pressure Laminate (HPL)* sebagai pelindung dan penambah estetika. Lapisan HPL ditempelkan menggunakan lem kuning untuk memastikan daya rekatnya kuat.

5. Pemasangan Pintu dan *Fitting* Tambahan

Setelah kerangka utama selesai, dilakukan pemasangan pintu loker menggunakan engsel sendok, serta penambahan knop pintu. Proses ini memastikan bahwa setiap pintu dapat dibuka dan ditutup dengan presisi.

6. *Finishing* Akhir

Tahap akhir berupa *finishing*, pembersihan permukaan, dan pengecekan ulang dimensi untuk memastikan tidak terjadi ketidaksejajaran antar panel. Hasil akhir berupa unit *smart locker* dengan dua kompartemen.

Setelah produk loker selesai dibuat dan seluruh komponen siap, dilakukan proses perakitan sistem elektronik pada *board 400 hole* menggunakan kabel *jumper*. Hubungan antar modul dilakukan sesuai dengan rancangan skematik:

1. Modul RFID RC522 dihubungkan ke pin SPI pada Arduino (MOSI, MISO, SCK, dan SS).
2. Modul *relay* dihubungkan ke pin digital Arduino untuk mengendalikan arus menuju *solenoid door lock*.
3. LCD 16x2 I2C dihubungkan melalui pin SDA dan SCL untuk menampilkan status operasi.
4. Adaptor DC dihubungkan melalui port DC *jack* sebagai catu daya sistem.

Setelah seluruh rangkaian *hardware* terhubung, langkah selanjutnya adalah pemrograman sistem menggunakan *software* Arduino IDE. Program ditulis dengan bahasa C++ untuk mengatur proses identifikasi RFID, logika pembukaan pintu, dan tampilan pesan pada LCD. Mikrokontroler kemudian dihubungkan ke komputer melalui kabel USB untuk proses upload kode ke memori Arduino Uno.

3.3. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *smart locker* yang telah dirancang dan dirakit dapat berfungsi sesuai spesifikasi teknis, baik dari sisi *hardware* maupun *software*. Pengujian difokuskan pada aspek fungsionalitas, ketepatan pembacaan sensor RFID dan mekanisme penguncian otomatis berbasis *solenoid lock*. Metode pengujian yang digunakan adalah *black box testing*, yaitu pengujian berbasis keluaran yang dihasilkan dari setiap masukan (*input*) tanpa memperhatikan proses internal kode program. Setiap komponen diuji secara terpisah (*unit test*), kemudian dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan (*integration test*).

Pengujian pertama yang dilakukan adalah tes fungsi komponen *hardware*. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi hubungan antar komponen serta kestabilan daya pada sistem. Komponen utama yang diuji meliputi modul RFID RC522, relay 5V, *solenoid door lock*, LCD 16×2 I2C, dan *limit switch*.

Tabel 1. Hasil pengujian fungsi hardware

Komponen	Jenis pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
RFID RC522	Pembacaan kartu RFID	ID kartu terbaca < 5 cm	Sesuai
Relay 1 Ch	Pengendali arus ke <i>solenoid</i>	Mengaktifkan dan memutus arus 12V	Sesuai
<i>Solenoid door lock</i>	Mekanisme buka/tutup otomatis	Terbuka ketika relay aktif	Sesuai
LCD 16×2 I2C	Tampilan status sistem	Menampilkan teks “Loker Terbuka”/“Akses Ditolak”/“Sistem aktif, tempelkan kartu”	Sesuai
Limit Switch	Deteksi posisi pintu	Bernilai HIGH saat tertutup	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 1, diketahui bahwa sistem *smart locker* bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Modul RFID RC522 mampu membaca ID kartu pada jarak efektif yang ditetapkan. Relay 1 Ch berfungsi dengan baik dalam mengendalikan aliran arus menuju *solenoid*. Mekanisme buka/tutup *solenoid door lock* merespons dengan tepat saat relay aktif. LCD 16×2 I2C menampilkan informasi status sistem sesuai skenario pengujian, dan *limit switch* berhasil mendeteksi posisi pintu dengan akurat. Secara keseluruhan, seluruh komponen *hardware* menunjukkan kinerja yang sesuai spesifikasi dan mendukung operasional sistem *smart locker* secara optimal.

Pengujian kedua yang dilakukan adalah menguji *software* untuk memastikan algoritma kontrol Arduino bekerja sesuai logika yang telah dirancang. Aspek yang diuji meliputi proses autentikasi RFID, pengendalian relay dan tampilan informasi pada LCD.

Tabel 2. Hasil pengujian software

Skenario pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil pengujian
Kartu RFID terdaftar ditempelkan ke loker	Relay aktif, <i>solenoid</i> terbuka, LCD menampilkan “Loker Terbuka”	Sesuai
Kartu RFID tidak terdaftar ditempelkan ke loker	Relay tidak aktif, LCD menampilkan “Akses Ditolak”	Sesuai
Pintu belum tertutup kembali	Sistem tetap dalam mode terbuka	Sesuai
Pintu tertutup otomatis	Relay off, <i>solenoid</i> tertutup	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian *software* pada Tabel 2, menunjukkan bahwa seluruh skenario perangkat lunak berjalan sesuai logika yang telah dirancang. Sistem mampu mengenali kartu RFID terdaftar dan memberikan respon yang tepat dengan mengaktifkan *relay*, membuka *solenoid*, serta menampilkan informasi “Loker Terbuka” pada LCD. Pada kartu yang tidak terdaftar, sistem juga bekerja dengan benar dengan menolak akses dan menampilkan pesan “Akses Ditolak”. Mekanisme logika pintu, baik ketika pintu belum tertutup maupun saat tertutup otomatis, berfungsi sesuai harapan, di mana sistem tetap berada pada status yang benar hingga *solenoid* kembali menutup ketika *relay* dinonaktifkan. Secara keseluruhan, fungsi *software* menunjukkan kinerja stabil dan akurat dalam mengendalikan proses autentikasi, status pintu, serta tampilan informasi pada perangkat.

Pengujian selanjutnya mengetes fungsionalitas sistem. Pengujian sistem RFID dilakukan dengan menggunakan *tag* kartu sebagai media identifikasi untuk mengaktifkan *solenoid lock*. Proses uji dilakukan dengan menempelkan kartu pada *reader* RFID untuk mengetahui jarak maksimum pembacaan yang masih dapat memicu mekanisme pembukaan kunci.

Tabel 3. Hasil pengujian jarak pembacaan kartu

Jarak (cm)	Respon RFID reader		<i>Solenoid</i>	
	Membaca	Tidak membaca	Membuka	Mengunci
0	√		√	
1	√		√	
2	√		√	
3	√		√	
4		√		√
5		√		√

Hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa *tag* kartu dapat terdeteksi dengan baik pada jarak antara 0 hingga 3 cm dari modul pembaca RFID. Teknologi RFID dengan frekuensi kerja 13,56 MHz umumnya memiliki jarak operasional efektif sekitar 5 cm (Dang, H.T. dalam Saputro & Wibawanto, 2016).

Pengujian berikutnya dilakukan menggunakan enam jenis kartu berbeda untuk mengetahui kemampuan

modul RFID RC522 dalam mengenali *tag* dan mengaktifkan *solenoid door lock*. Tujuan pengujian untuk menentukan kompatibilitas sistem terhadap berbagai jenis kartu berbasis *chip*, baik yang menggunakan frekuensi 13,56 MHz (HF) maupun frekuensi rendah (125 kHz). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kompatibilitas sistem RFID

Jenis kartu RFID	Frekuensi	Akses		Keterangan
		Bisa	Tidak	
Tag Kartu	13,56 MHz	√		Setelah didaftarkan, RFID mengenali dan solenoid dapat terbuka
KTP	13,56 MHz	√		Setelah didaftarkan, RFID mengenali dan solenoid dapat terbuka
<i>E-Money</i>	13,56 MHz	√		Setelah didaftarkan, RFID mengenali dan solenoid dapat terbuka
ATM	13,56 MHz	√		Setelah didaftarkan, RFID mengenali dan solenoid dapat terbuka
Kartu perpustakaan	125 kHz		√	Setelah didaftarkan RFID tidak mengenali dan solenoid tidak merespon
Kunci <i>chip</i>	13,56 MHz	√		Setelah didaftarkan, RFID mengenali dan solenoid dapat terbuka

Hasil pengujian kompatibilitas sistem pada Tabel 4 menunjukkan bahwa jenis kartu yang dikenali oleh sistem RFID pada *smart locker* yaitu tag kartu, e-KTP, *e-Money*, kartu ATM dan kartu kunci hotel. Sedangkan kartu Perpustakaan Kendal tidak dapat dikenali oleh sistem *smart locker*.

Tag kartu yang digunakan untuk pengujian memiliki spesifikasi *Mifare Classic 1K*, frekuensi 13,56 MHz, standar ISO 14443A. Kartu ini merupakan jenis standar bawaan dari modul RFID RC522. Berdasarkan spesifikasi, kartu bekerja pada frekuensi 13,56 MHz dengan protokol komunikasi ISO/IEC 14443 Type A, sehingga sepenuhnya kompatibel dengan pembaca RFID RC522. Hasil pengujian menunjukkan kartu dapat terbaca dengan baik pada jarak 0–3 cm dan langsung mengaktifkan solenoid lock setelah autentikasi berhasil.

Kartu KTP Elektronik dengan spesifikasi 13,56 MHz, ISO 14443A. e-KTP Indonesia juga menggunakan chip *Mifare Type A* dengan frekuensi 13,56 MHz. Modul RC522 dapat membaca UID

kartu, namun tidak dapat mengakses data terenkripsi dalam *chip* karena adanya sistem keamanan pemerintah (*data protection*). Meskipun demikian, untuk keperluan identifikasi UID, kartu masih dapat digunakan dan sistem mengenali akses sebagai valid jika kartu didaftarkan, sehingga solenoid terbuka.

Kartu Mandiri e-Money memiliki spesifikasi frekuensi 13,56 MHz dan ISO 14443A. Kartu ini berbasis teknologi NFC Type A yang kompatibel dengan RC522. Pengujian menunjukkan kartu dapat terdeteksi dan sistem mampu mengidentifikasi UID dengan benar. Oleh karena itu, setelah didaftarkan ke sistem, kartu ini dapat digunakan untuk membuka loker dengan respon cepat dan stabil.

Kartu ATM BSI dengan spesifikasi Chip EMV, 13,56 MHz *Contactless*. Sebagian kartu ATM modern memiliki *chip* dengan protokol *EMV (Europay, Mastercard, Visa) Contactless* yang bekerja pada frekuensi 13,56 MHz dan kompatibel sebagian dengan pembaca RC522. Pada pengujian ini, modul RFID masih dapat membaca UID dari chip dan mengaktifkan *solenoid lock*, meskipun kecepatan respon sedikit lebih lambat dibandingkan kartu *Mifare* biasa akibat adanya proses *handshake* tambahan pada sistem keamanan kartu.

Kartu Kunci *Chip* Hotel memiliki spesifikasi 13,56 MHz, *Mifare Ultralight*. Berdasarkan spesifikasinya, kartu ini juga menggunakan frekuensi 13,56 MHz dengan protokol ISO 14443A, sehingga kompatibel dengan RC522. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat membaca UID kartu dan mengaktifkan *solenoid door lock* tanpa kendala.

Kartu Perpustakaan dengan spesifikasi 125 kHz, RFID *Low Frequency*, EM-4100 series.

Kartu ini tidak dapat dikenali oleh modul RC522 meskipun sudah didaftarkan ke sistem. Hal ini disebabkan oleh perbedaan frekuensi kerja, di mana kartu Perpustakaan menggunakan frekuensi 125 kHz yang termasuk dalam *low frequency* (LF) dengan protokol EM-4100, sedangkan modul RC522 hanya mendukung frekuensi 13,56 MHz yang termasuk dalam *high frequency* (HF). Akibatnya, gelombang elektromagnetik dari pembaca tidak dapat menginduksi chip LF, sehingga tidak terjadi komunikasi dan sistem tidak merespons. Agar sistem dapat membaca kartu berfrekuensi rendah, dibutuhkan modul *reader* tambahan seperti RFID RC522L atau RDM6300 agar dapat digunakan secara universal.

3.4. Analisis Efisiensi Biaya

Analisis efisiensi biaya dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari pengembangan *smart locker* berbasis Arduino dan RFID dengan memanfaatkan limbah kayu sebagai material utama. Aspek biaya menjadi parameter penting dalam pengembangan sistem berbasis teknologi terapan, khususnya untuk memastikan bahwa inovasi yang dihasilkan tidak hanya unggul secara fungsional, tetapi juga memiliki potensi implementasi yang luas dan berkelanjutan. Dalam

konteks ini, analisis difokuskan pada perbandingan estimasi biaya produksi antara *smart locker* yang menggunakan kayu baru (*solid wood* atau multiplex baru) dan *smart locker* yang memanfaatkan limbah kayu, dengan asumsi skala produksi prototipe atau produksi kecil.

Pendekatan analitis ini bertujuan untuk menunjukkan sejauh mana pemanfaatan limbah kayu dapat memberikan kontribusi terhadap pengurangan biaya produksi tanpa mengurangi kinerja sistem keamanan dan kontrol akses. Hasil analisis diharapkan dapat memperkuat argumen bahwa integrasi teknologi IoT dengan material ramah lingkungan merupakan solusi yang tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga layak secara ekonomis untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala UMKM.

Tabel 5. Perbandingan Estimasi Biaya Produksi Smart Locker

Komponen biaya	Smart Locker Kayu Baru (Rp)	Smart Locker Limbah Kayu (Rp)	Keterangan
Bahan baku kayu	400.000	110.000	Limbah kayu diperoleh dari sisa produksi furnitur, biaya hanya untuk seleksi dan pemotongan
Proses pengolahan kayu	150.000	100.000	Kayu baru membutuhkan <i>finishing</i> lebih intensif
Arduino Uno R3	95.000	95.000	Sama untuk kedua sistem
RFID Reader dan kartu	100.000	100.000	Sama untuk kedua sistem
Selenoid lock + relay	60.000	60.000	Sama untuk kedua sistem
LCD dan komponen pendukung	75.000	75.000	Sama untuk kedua sistem
Biaya perakitan dan integrasi	150.000	150.000	Sama untuk kedua sistem
Total Estimasi biaya	1.030.000	690.000	
Potensi penghematan	-	33%	Dibandingkan penggunaan kayu baru

Berdasarkan perhitungan estimasi biaya produksi pada Tabel 5, penggunaan limbah kayu sebagai material utama *smart locker* menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan dibandingkan penggunaan kayu baru. Total biaya produksi *smart locker* berbahan kayu baru berada pada kisaran Rp 1.030.000,- per unit, sedangkan penggunaan limbah kayu mampu menekan biaya menjadi Rp 690.000 per unit. Dengan demikian, terdapat potensi efisiensi biaya sebesar 33%.

Penghematan biaya ini terutama berasal dari komponen material utama loker, di mana limbah kayu hanya memerlukan biaya seleksi dan pengolahan ulang tanpa pembelian bahan baku baru. Hasil ini memperkuat bahwa pemanfaatan limbah

kayu tidak hanya berdampak positif terhadap aspek lingkungan, tetapi juga meningkatkan kelayakan ekonomi produk *smart locker*. Dibandingkan dengan penelitian *smart locker* sebelumnya yang umumnya menggunakan material baru dan struktur konvensional, pendekatan ini memberikan nilai tambah berupa efisiensi biaya sekaligus mendukung prinsip *zero waste* dan industri ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe *smart locker* berbasis IoT dan RFID dengan memanfaatkan limbah *plywood* sebagai material utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah kayu dapat diolah secara efektif sesuai prinsip *circular economy* untuk menghasilkan produk fungsional dengan kualitas yang layak serta biaya produksi yang lebih efisien dibandingkan penggunaan kayu baru, dengan potensi penghematan biaya material yang signifikan.

Integrasi teknologi IoT dan RFID meningkatkan nilai tambah *smart locker* dari sisi keamanan dan potensi aplikasi sebagai *eco-furniture* fungsional, khususnya bagi UMKM dan pendidikan vokasi. Sistem yang dibangun menggunakan Arduino Uno dan modul RFID RC522 menunjukkan kinerja autentikasi yang optimal dengan tingkat keberhasilan pembacaan kartu mencapai 100% pada frekuensi 13,56 MHz, di mana performa sistem sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara modul pembaca dan kartu RFID yang digunakan.

Penelitian lebih lanjut perlu difokuskan pada peningkatan fitur antarmuka, khususnya penampilan identitas pengguna dan waktu akses. Selain itu, integrasi modul pembaca RFID yang kompatibel untuk beragam frekuensi, seperti RC522L atau RDM6300 disarankan agar sistem lebih universal dan bisa membaca lebih banyak jenis kartu.

PUSTAKA

Arini, N. I., Kusuma, A. W., Ulhaq, D. D., Karima, D., & Amzetha, D. (2025). PEMANFAATAN LIMBAH KAYU MENJADI SMART MARKER BOX BERBASIS IOT. *JURNAL INDUSTRI FURNITUR & PENGOLAHAN KAYU*, 3(1), 48–55.

Dewi, K. P., Ritzkal, & Prakosa, B. A. (2025). PEMANFAATAN RFID DAN PEMANTAUAN SISTEM PINTU AKSES BERBASIS WEB UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN DI ASRAMA PUTRI UIKA BOGOR. *Infotech Journal*, 11(1), 9–19.

Fahruzi, I., & Faizal, R. (2022). Sistem Pengaman Loker Menggunakan Smart Card PN532 RFID/NFC. *Jurnal Integrasi*, 14(2), 114–121.

Fathiah, Mursyidin, Baihaqi, & Fachri, M. R. (2025). Analisis Prototype Smart Door Lock Berbasis RFID, Keypad dan Sensor Gerak.

- Jurnal Serambi Engineering*, 10(1), 11627–11635.
<https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/602%0Ahttps://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/download/602/468>
- Firdausi, A. R. N., Saputri, E. S. D., Maulita, N. D., Akmala, D., & Maulana, M. A. (2022). Pengolahan Limbah Serbuk Kayu Jati Menjadi Asap Cair. *The Indonesian Green Technology Journal*, 11(02), 46–51.
<https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2022.011.02.01>
- Hussein, A. R. H. (2019). Internet of Things (IOT): Research challenges and future applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 77–82.
<https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100611>
- Khasanah, N. A. R. H. A. A. S. Z. N. M. Y. U. (2023). Pemanfaatan Limbah Kayu Lapis Untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Desa Tracap, Kecamatan Kaliwiro, Kabupaten Wonosobo. *Servis: Jurnal Pengabdian Dan Layanan Kepada Masyarakat*, 9, 70–75.
<https://doi.org/10.58641/servis>
- Mahardika, F., Safira, N., Robaniyyah, I., & Ihzam, M. Y. (2023). Konsep Rancangan RFID Tag Keamanan Locker Perpustakaan Berbasis MySQL. *Sudo: Jurnal Teknik Informatika*, 2(1), 11–18.
<https://doi.org/10.56211/sudo.v2i1.214>
- Nugroho, Y., Aryati, H., & Yuniarti. (2020). Pengolahan Limbah Kayu Menjadi Aneka Rak Artistik. *PRO SEJAHTERA: Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 63–68.
<http://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-abdimas/article/view/413>
- Pradana, V., & Wiharto, H. L. (2020). Rancang Bangun Smart Locker Menggunakan Rfid Berbasis Arduino Uno. *El Sains : Jurnal Elektro*, 2(1), 55–61.
<https://doi.org/10.30996/elsains.v2i1.4016>
- Sanjaya, D., & Jaya, P. (2023). Rancang Bangun Smart Locker Berbasis Internet Of Things Dimas. *Jurnal Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika*, 11(1), 35–47.
<http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/index>
- Saputro, E., & Wibawanto, H. (2016). Rancang Bangun Pengaman Pintu Otomatis Menggunakan E-KTP Berbasis Mikrokontroler Atmega328. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 1–4.
- Sulistyono, B., Wahyuningsih, I. E., & Kusuma, P. A. (2021). Pengolahan Limbah Kayu Dengan Teknologi Mini Cold Press Pada Industri Mebel Di Sukoharjo. *Adiwidya Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 135–143.
- Sulistyono, I. F. B., Santoso, A. I., & Widiyanti, E. (2022). Peningkatan Nilai Limbah Kayu Melalui Program Kemitraan Masyarakat Di Desa Serenan Kecamatan Juwuring Kabupaten Klaten. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(3), 584.
<https://doi.org/10.24198/kumawula.v5i3.38203>
- Sutarman, I. W. (2016). Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu di Kota Denpasar (Studi Kasus Pada CV Aditya). *Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri*, 10(1), 15–22.
- Untari, D. T., Khasanah, F. N., Anjani, A. A., & Putri, A. (2024). Pendampingan Recycle Limbah Pengolahan Kayu Pada UMKM “Kayu Kreatif”, Kecamatan Setu Kabupaten Bekasi. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat UBJ*, 5(2), 137–146.
<https://doi.org/10.31599/v39vfx29>