

Desain Purwarupa Kunci Loker Menggunakan Passive Short-Range RFID

Daffa Fauzan Azhari¹; Meredith Susanty^{1*)}

1. Fakultas Sains dan Komputer, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Pertamina, DKI Jakarta 12220, Indonesia

^{*)}Email: mereditasusanty@universitaspertamina.ac.id

Received: 31 Desember 2022 | Accepted: 15 April 2023 | Published: 25 April 2023

ABSTRACT

Borrowing and returning keys is considered less efficient in using a public locker. In addition, conventional locker keys will experience a decrease in quality if the key holder on the locker door is often replaced due to the loss of keys by locker borrowers. In other areas, passive Radio-frequency identification (RFID) is used as a key for hotel rooms. This study aims to create a locker key prototype that uses student identity Cards with passive RFID technology as a substitute for keys. The key holder in each locker is replaced with an electronic circuit consisting of a card reader, microcontroller, and solenoid. The results of functional testing of electronic circuits built as prototypes show that the prototype is ready to be used to be applied in the applicative stage. One opportunity for further research is to update the data on the SD card via the internet so that the locker loan process becomes more efficient.

Keywords: radio-frequency identification, arduino, locker, key

ABSTRAK

Dalam peminjaman loker, proses peminjaman dan pengembalian anak kunci dianggap kurang efisien. Selain itu, kunci loker konvensional akan mengalami penurunan kualitas jika tempat kunci yang ada pada pintu loker sering diganti akibat hilangnya anak kunci oleh para peminjam loker. Melihat potensi passive Radio-frequency identification (RFID) sebagai kunci untuk kamar hotel, penelitian ini bertujuan membuat purwarupa kunci loker yang memanfaatkan passive RFID. Kartu Tanda Mahasiswa yang menggunakan kartu dengan teknologi passive RFID dimanfaatkan sebagai pengganti anak kunci dan tempat kunci diganti dengan rangkaian elektronik yang terdiri dari card reader, mikrokontroler, dan solenoid. Hasil pengujian secara fungsional terhadap rangkaian elektronika yang dibangun sebagai purwarupa menunjukkan purwarupa siap digunakan untuk diterapkan pada tahapan aplikatif. Salah satu peluang untuk penelitian lanjutan adalah melakukan pengkinian data pada SD card melalui jaringan internet sehingga proses peminjaman loker menjadi lebih efisien.

Kata kunci: radio-frequency identification, arduino, loker, kunci

1. PENDAHULUAN

Loker sebagai fasilitas berbentuk lemari atau kompartemen kecil yang dapat dikunci biasanya menjadi salah satu fasilitas yang ada pada ruang publik seperti di sekolah, gymnasium, atau stasiun kereta api. Kunci pada loker bisa menggunakan kunci konvensional yang menggunakan anak kunci ataupun kunci digital yang menggunakan kata atau kode kunci, sidik jari, atau kartu untuk membukanya. Pengguna yang ingin memanfaatkan fasilitas loker, biasanya perlu meminjam anak kunci atau kartu atau meminta kata atau kode kunci kepada pengelola loker sebelum dapat menggunakan fasilitas ini. Kunci digital menggunakan sidik jari umumnya hanya digunakan untuk loker yang didedikasikan untuk pengguna tertentu dalam jangka waktu yang cukup panjang misalnya fasilitas loker untuk setiap pegawai pada gedung kantor.

Fasilitas loker ini juga disediakan pada gedung perkuliahan Universitas Pertamina. Karena keterbatasan jumlah loker yang ada, loker digunakan secara bergantian oleh civitas akademika. Dengan kata lain, satu loker tidak didedikasikan untuk satu pengguna saja. Saat ini, loker yang disediakan di gedung perkuliahan masih menggunakan kunci konvensional. Untuk dapat menggunakan loker ini, mahasiswa harus meminjam kunci loker ke petugas perpustakaan dan selama meminjam loker ini, Kartu Tanda Mahasiswa (KTM) ditahan oleh petugas hingga pengguna mengembalikan kunci loker.

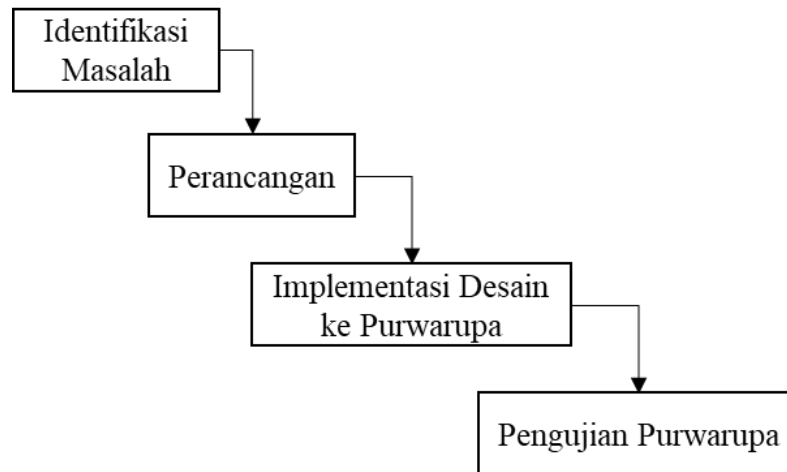
Penggunaan kunci konvensional memiliki risiko kehilangan anak kunci serta potensi penyalahgunaan seperti penggandaan anak kunci. Ketika kunci loker hilang, maka loker tersebut perlu diganti tempat kuncinya. Penggantian tempat kunci ini mengakibatkan biaya tambahan dan menurunkan kualitas loker dengan semakin seringnya penggantian tempat kunci. Selama proses penggantian tempat kunci, loker yang ada tidak dapat digunakan oleh pengguna lain untuk sementara waktu.

Selain risiko kehilangan anak kunci, juga ada proses yang tidak efisien dalam proses peminjaman loker. Pertama, waktu yang dihabiskan pengguna untuk menemui pengelola loker untuk mendapatkan dan mengembalikan anak kunci. Kedua, KTM menjadi jaminan supaya anak kunci dikembalikan pada waktu yang ditentukan. Kartu yang digunakan sebagai KTM sendiri saat ini sudah menggunakan *smart card* dimana di dalam kartu tertanam *passive Radio-frequency identification (RFID)* chip juga mikro chip yang memiliki memori untuk menyimpan data [1]. *Passive RFID* sendiri sudah banyak digunakan untuk membuka akses berbagai layanan seperti tiket transportasi seperti bus atau kereta [2]–[6], tiket tol [7], dan sebagai kunci untuk kamar hotel [8].

Melihat penggunaan *passive RFID* di bidang-bidang lain, penelitian ini bertujuan memanfaatkan potensi *passive RFID* yang ada pada KTM untuk mengakses loker yang disediakan di gedung perkuliahan. Anak kunci digantikan dengan *smart card* yang memiliki *passive RFID* chip dan tempat kunci konvensional diganti dengan *card reader* dan pengatur kunci menggunakan Arduino. Dengan penggunaan kunci digital yang menggunakan *passive RFID* yang menyimpan data pengguna dan Arduino sebagai pengatur mekanisme penguncian setiap loker diharapkan menghilangkan waktu yang dibutuhkan pengguna untuk menemui pengelola loker untuk mendapatkan dan mengembalikan kunci serta menurunkan biaya akibat anak kunci yang hilang dengan tetap memprioritaskan keamanan dalam mengakses loker.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan langkah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *waterfall* atau sekuensial dimana satu tahap penelitian akan dilakukan jika tahap sebelumnya sudah selesai.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1. Identifikasi Masalah

Pada tahap identifikasi masalah dilakukan pengumpulan informasi alur proses peminjaman dan penggunaan loker dengan studi kasus loker yang tersedia di Universitas Pertamina dan cara kerja loker konvensional. Dari cara kerja loker konvensional dilakukan analisis cara kerja loker menggunakan RFID reader dan *smart card*. Usulan perbaikan didokumentasikan menggunakan *state diagram* untuk mengilustrasikan cara kerja alat [9].

2.2. Perancangan

Berdasarkan proses cara kerja alat yang diusulkan, selanjutnya dilakukan perancangan alat. Pada proses ini dilakukan identifikasi komponen-komponen elektronika yang akan digunakan dan perancangan rangkaian elektronika untuk seluruh komponen tersebut. Selanjutnya dilakukan perancangan komponen akan digambarkan menggunakan *block diagram* [9], [10] untuk menunjukkan desain secara umum dan *circuit diagram* untuk menunjukkan bagaimana setiap komponen elektronik terhubung satu sama lain [11]–[13]. Pada tahap ini juga dilakukan perancangan fungsi yang akan diakomodir oleh purwarupa berdasarkan state dan event yang dijelaskan pada *state diagram*.

2.3. Analisis

Pada tahapan ini, dilakukan pembuatan purwarupa berdasarkan desain yang dijelaskan pada circuit diagram dan blok diagram dan pembuatan kode program untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi yang sudah diidentifikasi. Algoritma program dijelaskan dalam bentuk diagram alir atau *flowchart*.

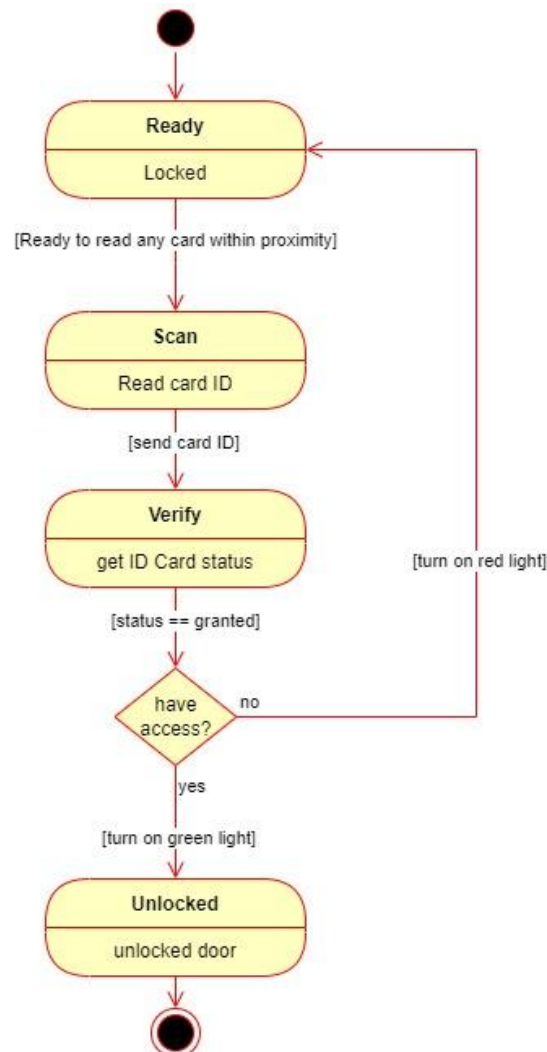
2.4. Pengujian Purwarupa

Pengujian yang dilakukan adalah *functional testing* [14]. *Test scenario* dan *test case* untuk pengujian disusun berdasarkan informasi yang dinyatakan di *state diagram* dan diagram alir [15]. Purwarupa yang terdiri dari rangkaian elektronika beserta kode program untuk mengendalikannya akan diujikan berdasarkan skenario dan kasus yang ditentukan pada *test scenario* dan *test case*. Purwarupa yang lolos dari pengujian siap digunakan untuk menggantikan kunci loker konvensional saat ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Loker konvensional dikunci dan dibuka menggunakan anak kunci. Hanya anak kunci yang sesuai dengan lubang kunci yang terpasang pada pintu loker yang dapat masuk ke lubang kunci. Untuk membuka kunci loker, anak kunci yang sudah dimasukkan ke lubang kunci diputar ke arah kanan. Sebaliknya, untuk menguncinya, diputar ke arah kiri. Anak kunci dicabut dari lubang kunci setelah pintu loker berhasil terkunci untuk menjaga keamanan barang yang ada di loker. Anak kunci pada loker konvensional ini akan diganti dengan Kartu Tanda Mahasiswa Universitas Pertamina yang menggunakan *smart card* jenis MIFARE [1] dengan jenis MIFARE Classic [16] dan lubang kunci akan digantikan dengan RFID Reader. Mekanisme penguncian loker ini akan mengikuti perubahan *state* dan *event* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Keadaan *default* adalah loker dalam keadaan terkunci dan selalu siap mendeteksi frekuensi RFID dalam jarak sekitar 10-13 cm disekitarnya. Saat *card reader* mendeteksi frekuensi RFID pada jarak tersebut, ID kartu akan dibaca oleh *card reader*. Selanjutnya akan dicocokkan pada data yang tersimpan di memori, apakah kartu tersebut memiliki akses untuk membuka loker tersebut. Jika status kartu tersebut adalah "*granted*" maka lampu hijau akan menyala dan loker akan terbuka. Sebaliknya jika status kartu tersebut adalah "*restricted*" maka lampu merah yang akan menyala untuk memberikan informasi kepada pengguna bahwa kartu yang digunakan tidak dapat membuka loker.



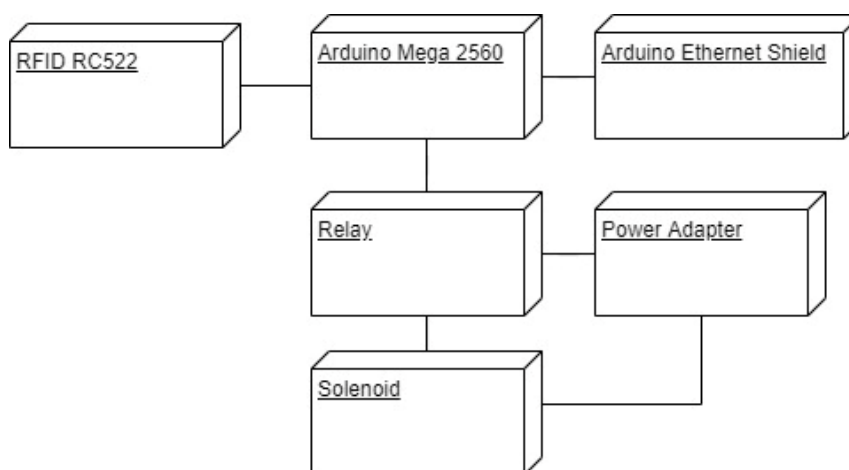
Gambar 2. Mekanisme Penguncian Loker RFID

Untuk mengimplementasikan alur proses loker RFID, penelitian ini akan menggunakan komponen-komponen elektronika yang dideskripsikan pada Tabel 1. Selain nama komponen, juga dijelaskan kegunaan dari masing-masing komponen pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Komponen Elektronika

Nama Komponen	Deskripsi
Arduino Mega 2560	Mikrokontroler yang berfungsi mengendalikan mekanisme buka dan kunci [17].
Arduino Ethernet Shield	Komponen elektronik yang memungkinkan papan arduino terhubung ke internet untuk menerima atau mengirimkan data [18].
RFID RC522	Komponen elektronik untuk membaca data RFID dari <i>smart card</i> [16], [19].
Relay	Saklar listrik yang digunakan untuk menghidupkan/mematikan lampu merah/hijau berdasarkan perintah dari mikrokontroler [19].
Solenoid	Komponen pengunci pintu menggunakan mekanisme elektromagnet berdasarkan perintah dari mikrokontroler [20], [21].
Power Adapter 12V	Sumber daya untuk solenoid
MIFARE Classic Card	Smart card yang berfungsi menggantikan anak kunci untuk membuka loker [22].

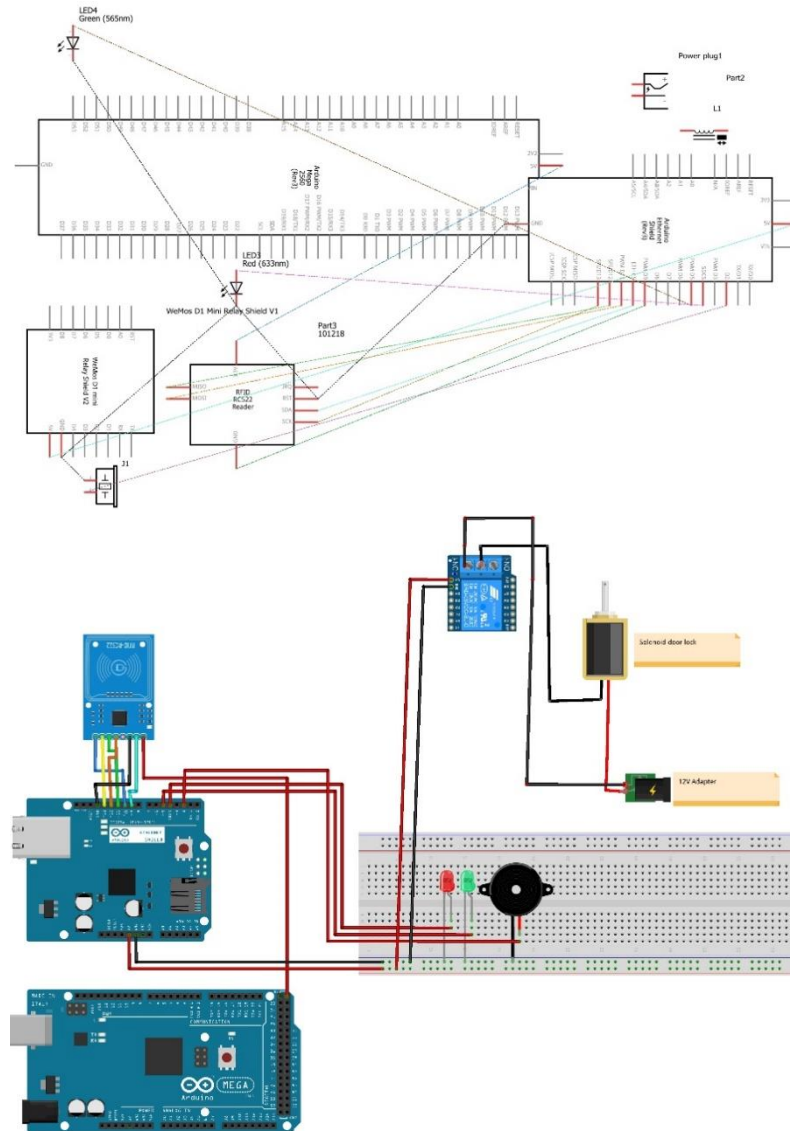
Komponen yang dijelaskan pada Tabel 1 dirancang untuk terhubung satu sama lain agar dapat menjalankan fungsinya. Rancangan interaksi antar komponen ditunjukkan pada blok diagram pada Gambar 3 dan bagaimana menghubungkan komponen-komponen elektronik ini agar dapat bekerja dengan benar ditunjukkan pada circuit diagram yang ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk dapat menjalankan proses seperti yang ditentukan pada Gambar 2, rangkaian elektronik yang dirancang harus mampu mengakomodir kebutuhan yang ditentukan pada Tabel 2.



Gambar 3. Block Diagram Sistem

Berdasarkan rancangan *circuit diagram* pada Gambar 4, dibuatlah purwarupa dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Untuk mengendalikan proses penguncian dan pembukaan

pintu loker, dibuat kode program sederhana yang akan dijalankan oleh mikrokontroler. Algoritma untuk kode program ditunjukkan pada Gambar 6 dan potongan kode program hasil implementasi ditunjukkan pada Gambar 7.

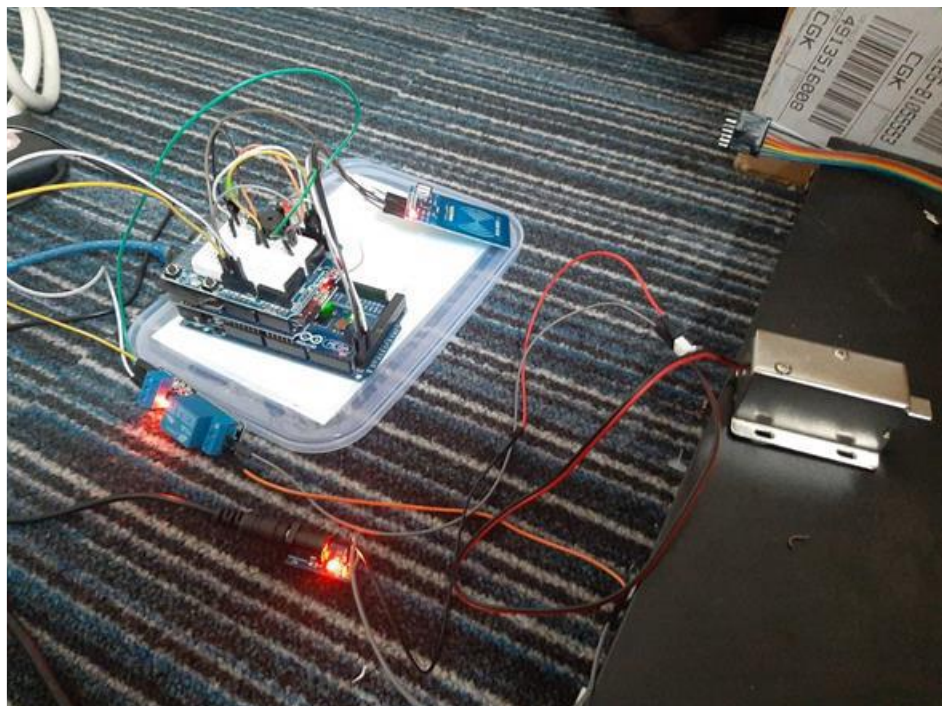


Gambar 4. Circuit Diagram Sistem

Tabel 2. Daftar Requirement Sistem

Fungsi	Requirement
1. Load Data	1.1. Arduino mampu mengenali SD Card yang ada pada ethernet shield. 1.2. Arduino mampu membuka, membaca, dan memindahkan data dari SD Card ke memori internal.
2. Autentikasi	2.1. RFID Reader mampu mengenali MIFACE Classic Card dalam jarak 10 cm. 2.2. RFID Reader mampu membaca UID pada MIFARE Classic Card.

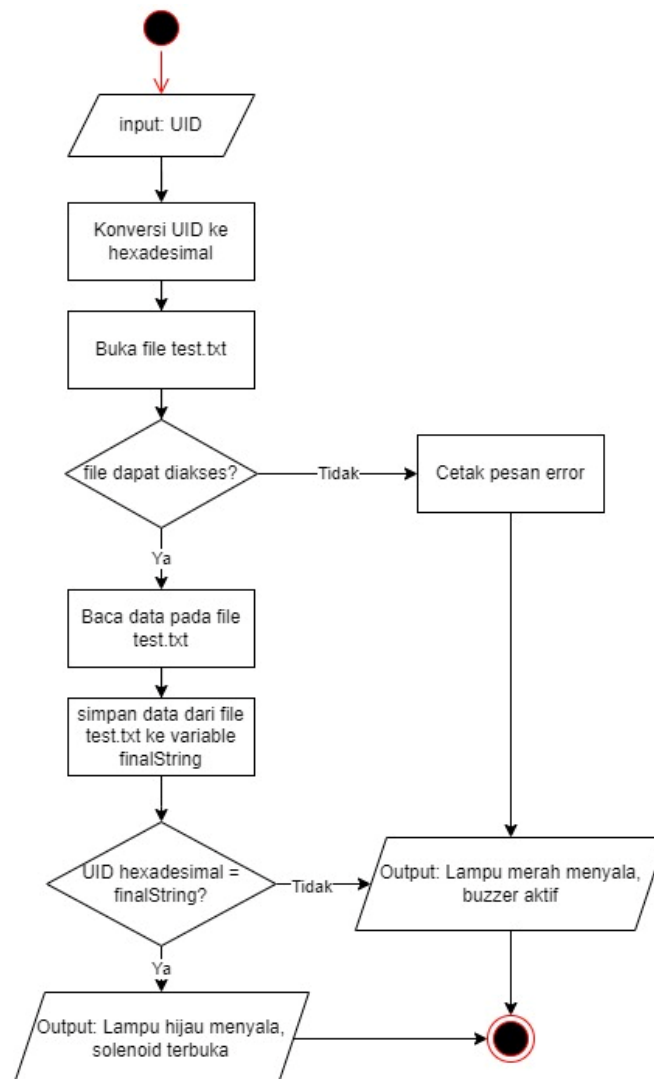
	2.3. RFID Reader mampu mengubah nilai UID pada MIFACE Classic Card menjadi nilai hexadecimal.
3. Autorisasi	3.1. Arduino mampu membandingkan nilai UID dengan data yang didapat dari SD Card: 3.2. Arduino mampu mengambil status UID dari data yang diperoleh dari SD Card 3.3. Arduino mampu menghasilkan output yang sesuai berdasarkan hasil perbandingan nilai UID hexadecimal dengan data yang didapat dari SD Card • Jika hexadesimal UID ada pada data maka output yang diberikan adalah 1 • Jika hexadesimal UID tidak ada pada data maka outpt yang diberikan adalah 0 3.4. Arduino mampu mengirimkan output ke relay.
4. Mekanisme Penguncian	4.1. Relay mampu menghidupkan warna lampu yang sesuai dengan input yang diterima • Jika input = 1, lampu hijau yang menyala, relay closed • Jika input = 0, lampu merah yang menyala, relay open 4.2. Solenoid mampu membuka/menutup sesuai dengan input yang diterima dari relay. • Jika relay closed, solenoid menerima tegangan 12V, maka pintu loker terbuka • Jika relay open, solenoid tidak menerima tegangan, maka pintu loker terkunci



Gambar 5. Purwarupa Kunci Loker

Pengujian fungsionalitas purwarupa dilakukan dengan menggunakan dua jenis kartu satu; MIFARE classic dan kartu NFC mengikuti skenario pengujian seperti dijelaskan pada Tabel 3. Setiap skenario dilengkapi dengan dataset yang digunakan untuk pengujian dan hasil yang diharapkan. Jika pada saat pengujian didapatkan hasil yang sesuai dengan hasil yang diharapkan, maka pengujian dianggap lolos. Sebaliknya, jika saat pengujian didapatkan hasil yang berbeda dengan hasil yang diharapkan, maka pengujian dianggap gagal.

Dari proses pengujian, hanya satu skenario yang gagal yakni pembacaan kartu dengan jarak 10 cm. Walaupun dari spesifikasi teknis RFID RC522 disebutkan bahwa dapat membaca kartu dalam jarak 10 cm, pada prakteknya kartu harus berada kurang dari 10 cm dari *card reader* agar dapat dideteksi. Saat mengimplementasikan purwarupa ini pada pintu loker sebenarnya, harus mempertimbangkan ketebalan pintu loker sehingga kemungkinan kartu harus berada lebih dekat ke pintu loker agar dapat terdeteksi. Secara umum, berdasarkan hasil pengujian, purwarupa ini siap untuk diinstal pada pintu loker yang sebenarnya dan dikembangkan lebih lanjut supaya data yang tersimpan pada SD card bisa diubah dengan lebih fleksibel sesuai dengan data peminjam pada waktu tertentu.



Gambar 6. Diagram Alir Algoritma Program

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Initiate a serial communication
  SPI.begin(); // Initiate SPI bus
  mfrc522.PCD_Init(); // Initiate MFRC522
  pinMode(LED_G, OUTPUT);
  pinMode(LED_R, OUTPUT);
  pinMode(RELAY, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  noTone(BUZZER);
  digitalWrite(RELAY, HIGH);
  Serial.println("Put your card to the reader...");
  Serial.println();

  while (!Serial){
    ;
  }
  Serial.print("Initializing SD Card...");

  if(!SD.begin(4)){
    Serial.println("initialization failed");
    while(1)
  }
  Serial.println("initialization done");
  myFile= SD.open("test.txt");
  if(myFile){
    Serial.println("test.txt");

    while(myFile.available()){
      finalString += (char)myFile.read();
    }
  }else{
    Serial.println("error opening test.txt");
  }
}

void loop()
{
  // Look for new cards
  if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
  {
    return;
  }
  // Select one of the cards
  if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
  {
    return;
  }
  //Show UID on serial monitor
  Serial.print("UID tag :");
  String content= "";
  byte letter;
  for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
  {
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
    content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " "));
    content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
  }
  Serial.println();
  Serial.print("Message : ");
  content.toUpperCase();
  |
  //change here the UID of the card/cards that you want to give access
  if (content.substring(1) == finalString)
  {
    Serial.println("Authorized access");
    Serial.println();
    delay(500);
    digitalWrite(RELAY, HIGH);
    digitalWrite(LED_G, HIGH);
    delay(ACCESS_DELAY);
    digitalWrite(RELAY, LOW);
    digitalWrite(LED_G, LOW);
  }
  else {
    Serial.println(" Access denied");
    digitalWrite(LED_R, HIGH);
    tone(BUZZER, 300);
    delay(DENIED_DELAY);
    digitalWrite(LED_R, LOW);
    noTone(BUZZER);
  }
}

```

Gambar 7. Potongan Kode Program

Tabel 3. Skenario Pengujian

Use Case		Skenario 1			
Precondition		Solenoid dalam keadaan terkunci SD Card terpasang Power Supply On			
Test Case	Deskripsi	Dataset	Expected Output	Output	Hasil
1.A	Pembacaan smart card	Jarak:15 cm	Kartu tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	PASS
1.B		Jarak:10 cm	Kartu terdeteksi	Tidak terdeteksi	FAIL
1.C		Jarak: 5 cm	Kartu terdeteksi	Terdeteksi	PASS
1.D		Jarak: 3 cm	Kartu terdeteksi	Terdeteksi	PASS
2.A	Autentikasi smart card	Jenis Kartu: MIFARE ID Kartu: 1028765696	ID Kartu terbaca benar ID Kartu dikonversi menjadi : 3D51B800	ID kartu sesuai, Hexadesimal benar	PASS
2.B		Jenis Kartu:	ID Kartu terbaca	ID kartu	PASS

		NFC Card ID Kartu: 1028967104	benar ID Kartu dikonversi menjadi : 3D54CAC0	sesuai, Hexadesimal benar	
					PASS
3.A	Autorisasi Kartu dan Pembukaan Kunci	ID Kartu:10287656 96 Data pada file: 3D51B800	Lampu hijau menyala, solenoid terbuka	Lampu hijau menyala, solenoid terbuka	PASS
3.B		ID Kartu: 1028967104 Data pada file: 3D51B800	Lampu merah menyala, solenoid tidak berubah	Lampu merah menyala, solenoid tidak berubah	PASS

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Keberhasilan penggunaan Passive RFID sebagai tiket transportasi, tiket tol, atau kunci untuk kamar hotel, menjadi pendorong penelitian ini untuk menerapkan passive RFID sebagai kunci loker menggantikan kunci loker konvensional sebagai salah satu upaya perbaikan fasilitas umum di lingkungan kampus. Penelitian eksperimental yang terdiri dari empat tahapan penelitian – identifikasi masalah, perancangan, implementasi desain ke purwarupa, dan pengujian – yang dilakukan secara sekuensial berhasil membuat purwarupa rangkaian elektronik yang dapat bekerja dengan baik sesuai dengan rancangan. Penelitian selanjutnya dapat memanfaatkan purwarupa yang sudah dibuat dan melakukan pengembangan lebih lanjut dalam hal instalasi rangkaian listrik pada pintu loker dalam skala yang lebih besar dan pengkinian data yang tersimpan di SD card melalui internet.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. (Wolfgang) Rankl and W. (Wolfgang) Effing, ‘Smart card handbook’, p. 1043, 2010.
- [2] M. G. Gnoni, A. Rollo, and P. Tundo, ‘A smart model for urban ticketing based on RFID applications’, *IEEM 2009 - IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 2353–2357, 2009, doi: 10.1109/IEEM.2009.5373004.
- [3] K. G. V. Krishna, S. Selvarathinam, V. Roopsai, and R. M. R. Kumar, ‘Modified Ticketing System using Radio Frequency Identification (RFID)’, *Int. J. Adv. Comput. Res.*, vol. 3, no. 3, p. 92, 2013.
- [4] P. Chowdhury, P. Bala, D. Addy, S. Giri, and A. R. Chaudhuri, ‘RFID and Android based smart ticketing and destination announcement system’, *2016 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2016*, pp. 2587–2591, Nov. 2016, doi: 10.1109/ICACCI.2016.7732447.
- [5] V. Prasanth, R. Hari Prasad, and K. P. Soman, ‘Ticketing solutions for Indian railways using RFID technology’, *ACT 2009 - Int. Conf. Adv. Comput. Control Telecommun. Technol.*, pp. 217–219, 2009, doi: 10.1109/ACT.2009.62.
- [6] F. M. Hasan, G. Tangim, K. Islam, R. H. Khandokar, and A. U. Alam, ‘RFID-based ticketing for public transport system: Perspective megacity Dhaka’, *Proc. - 2010 3rd IEEE Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. ICCSIT 2010*, vol. 6, pp. 459–462, 2010, doi:

- 10.1109/ICCSIT.2010.5564067.
- [7] C. Athavale, S. Shinde, A. Rajemane, N. Mohite, and A. Professor, 'Raspberry Pi Based Smart Toll Collection System', *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 5, 2017, Accessed: May 19, 2019. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V4/i5/IRJET-V4I5812.pdf>.
- [8] G. Verma, G. K. Verma, and P. Tripathi, 'A Digital Security System with Door Lock System Using RFID Technology Cite this paper A Digital Security System with Door Lock System Using RFID Technology', *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 5, no. 11, p. 6, 2010.
- [9] C. Larman, *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development*, 3rd ed. Pearson, 2004.
- [10] 'Block Diagrams | Electronics Club'. <https://electronicsclub.info/blockdiagrams.htm> (accessed May 18, 2022).
- [11] 'IEEE SA - IEEE/ANSI 315-1975'. <https://standards.ieee.org/ieee/315/515/> (accessed May 18, 2022).
- [12] 'BSI - BS 3939-3 - Graphical Symbols for Electrical Power, Telecommunications and Electronics Diagrams Part 3: Conductors and Connecting Devices | Engineering360'. <https://standards.globalspec.com/std/26484/BS-3939-3> (accessed May 18, 2022).
- [13] 'Circuit Diagrams | Electronics Club'. <https://electronicsclub.info/circuitdiagrams.htm> (accessed May 18, 2022).
- [14] B. Rener, 'Considerations for electrical testing and commissioning: The need for testing and commissioning electrical equipment and systems varies by project, client, system, and building codes', *Consult. Specif. Eng.*, vol. 56, p. 38+, May 2019, [Online]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A585801838/AONE?u=anon~87d75877&sid=googleScholar&xid=daa1d6f8>.
- [15] J. Tian, *Software quality engineering: Testing, quality assurance, and quantifiable improvement*. Wiley, 2005.
- [16] 'NXP NFC Reader Library User Manual', no. April. NXP Semiconductors, 2014.
- [17] 'Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Official Store'. <http://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (accessed May 12, 2022).
- [18] 'Arduino Ethernet Shield | Arduino Documentation | Arduino Documentation'. <https://docs.arduino.cc/retired/shields/arduino-ethernet-shield-without-poe-module> (accessed May 12, 2022).
- [19] 'In-Depth: What is RFID? How It Works? Interface RC522 with Arduino'. <https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/> (accessed May 12, 2022).
- [20] 'Arduino - Solenoid Lock | Arduino Tutorial'. <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-solenoid-lock> (accessed May 18, 2022).
- [21] 'Small Push-Pull Solenoid - 12VDC : ID 412 : \$7.50 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits'. <https://www.adafruit.com/product/412> (accessed May 18, 2022).
- [22] T. P. Chinde and D. Dash, 'Secure Transaction by MIFARE Cards using NFC Technology', *Int. J. Sci. Res.*, vol. 6, pp. 2319–7064, 2015, Accessed: May 12, 2022. [Online]. Available: www.ijsr.net.