

Sistem Loker Cerdas Pada Smart Building Berbasis IOT

Jovian Nicholas Bachri, Hayu Fadiantoro, dan Eko Premunanto
Departemen Teknik Komputer, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dion@its.ac.id

Abstrak—Sering kali seseorang dalam menjalani perkuliahan mendapati dirinya membawa barang yang tidak dapat selalu dibawa saat memasuki suatu tempat seperti *Smart Building* dikarenakan suatu larangan ataupun keterbatasan kemampuan membawa barang terus menerus. Seseorang dapat mengatasi hal ini dengan menyimpan barang-barang di tempat penyimpanan sementara atau dengan meminjam loker. Peminjaman loker dapat diotomasi dengan penggunaan sistem *IoT*. Pembuatan sistem dilakukan dengan dua perangkat yaitu *Sistem Peminjaman Loker* untuk peminjaman loker dan perangkat *Sistem Kontrol Kunci Loker* untuk mengotomasi pembukaan loker. Sistem yang dibuat menggunakan kode QR sebagai metode otentikasinya dimana pemindai dapat dilakukan menggunakan kamera yang terpasang dengan mikrokontroler *ESP32*. Hasil yang didapatkan adalah proses peminjaman loker yang dapat diotomasi dengan performa yang dapat dikembangkan lagi.

Kata kunci—Smart Building, Loker Cerdas, Internet Of Things.

I. PENDAHULUAN

KETIKA seseorang pergi ke tempat umum sering kali mereka mendapati diri mereka membawa barang-barang baik itu dalam tas atau wadah lainnya. Barang yang dibawa ini bervariasi mulai dari kebutuhan sehari-hari hingga barang untuk pekerjaan atau sekolah. Dengan seberapa sering seseorang datang dan pergi dari tempat dimana barang-barang tersebut dibutuhkan, mereka harus tetap membawa barang tersebut meskipun berada di luar tempat mereka awalnya membawa barang tersebut. Hal ini menimbulkan beban dimana seseorang harus membawa semua barang-barang terus-menerus kemana-mana dan juga dapat menemukan keadaan sulit dimana suatu tempat melarang masuknya barang-barang yang dibawa. Adapaun keterbatasan kemampuan dan kelelahan tubuh seseorang dalam membawa barang-barang tersebut terus menerus. Membiarkan barang-barang di luar tanpa pengawasan juga bukanlah suatu ide yang baik. Seseorang dapat mengatasi hal ini dengan menyimpan barang-barang di tempat penyimpanan sementara atau dengan meminjam loker.

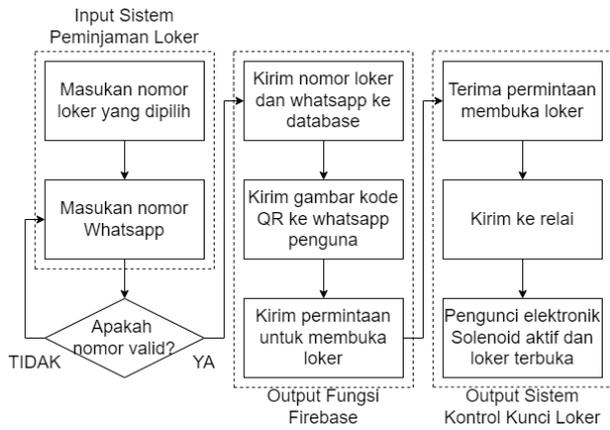
Tempat penyimpanan sementara adalah tempat dimana orang dapat menyimpan barangnya dalam waktu terbatas. Biasanya yang dilakukan orang adalah menyimpannya ketika memasuki tempat dan kemudian mengambilnya kembali ketika meninggalkan tempat. Tempat penyimpanan sementara ini biasanya memiliki penjaga yang berfungsi sebagai penyedia jasa. Ketika menyimpan barang-barang seperti tas kita berikan barang kita ke penjaga kemudian penjaga memberikan tiket/kartu sebagai bukti penitipan barang. Ketika ingin mengambil kembali barang yang dititipkan, dikembalikannya tiket/kartu tersebut sekaligus sebagai bukti bahwa pemilik barang tersebut. Di sisi lain juga terdapat tempat penyimpanan loker yang konsep

dasarnya sama dengan tempat penyimpanan sementara dengan penjaga. Perbedaan utamanya adalah daripada diberikan tiket/kartu diberikannya kunci untuk menggunakan loker di mana orang dapat menyimpan barang-barang sendiri. Tanggung jawab juga dialihkan dari penjaga kepada pengguna dimana mereka memiliki kunci untuk membuka loker kapanpun mereka mau. Setelah selesai menggunakan loker mereka juga wajib mengembalikan kunci kepada penyedia jasa. Kedua metode ini menyediakan cara untuk menyimpan sementara barang Anda di ruang publik tetapi juga memiliki kekurangannya. Penitipan dengan penjaga bergantung pada ketersediaan penjaga. Ini berarti bahwa penjaga harus terus-menerus berada di tempatnya agar penitipan selalu tersedia sedangkan penggunaan loker karena memiliki tanggung jawab yang dialihkan kepada pengguna yang berarti mereka memiliki akuntabilitas pribadi atas kunci tersebut dan jika kunci hilang mereka akan kesulitan mengambil kembali barang yang disimpan dan membutuhkan bantuan dari penyedia layanan [1]. Smart building adalah konsep penerapan otomatisasi pada bangunan untuk meningkatkan efisiensinya. Smart building bekerja dengan premis bahwa segala sesuatunya bekerja dengan sendirinya dan hanya sedikit interaksi atau bantuan manusia. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan perangkat elektronik seperti sensor yang terhubung melalui berbagai konektivitas internet dengan satu atau lebih sistem yang mengontrol dan memantaunya. Bangunan tertentu dianggap sebagai ruang publik dimana orang datang dan pergi sesuai kebutuhannya. Oleh karena itu memiliki tempat untuk menyimpan barang sementara juga merupakan kebutuhan yang diinginkan bagi orang yang datang. Menggunakan konsep otomasi smart building dalam menyimpan barang juga dapat diotomasi oleh perangkat elektronik yang tersambung internet atau *IoT*. Menggunakan perangkat *IoT* layanan penyimpanan sementara dapat dimulai hanya dengan perangkat seperti *smartphone* dan tanpa interaksi manusia serta sistem juga mengotomasi menjaga keamanan dan ketersediaan loker. Hal ini juga mengurangi tanggung jawab peminjam untuk menjaga kunci loker karena kuncinya dalam bentuk digital.

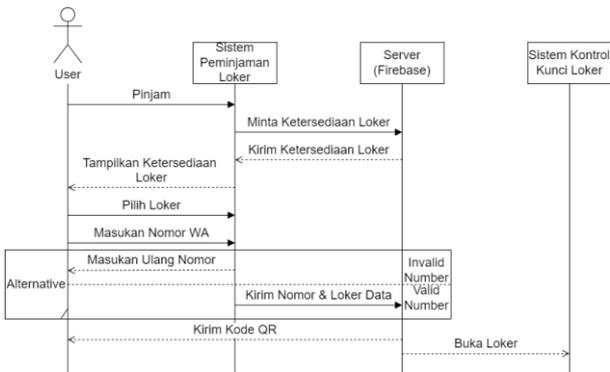
II. PENELITIAN TERKAIT

A. *The Implementation of Smart Locker in Edge Computing*

Pada jurnal berjudul "The Implementation of Smart Locker in Edge Computing" oleh Wen-Chang Chen dilakukan percobaan implementasi smart locker dengan menggunakan identifikasi wajah guna meningkatkan keamanan dari penggunaan locker konvensional yang menggunakan kunci mekanikal. Menggunakan teknologi



Gambar 1. Methodology block diagram.



Gambar 2. Proses pinjam.

FaceNet, sistem bekerja dengan membandingkan gambar wajah setelah diproses dan konversi pada depth model. Penggunaan depth model membutuhkan komputasi yang tinggi dan harusnya penurunan ketergantungan pada cloud computing, implementasi dilakukan pada peralatan edge computing [2].

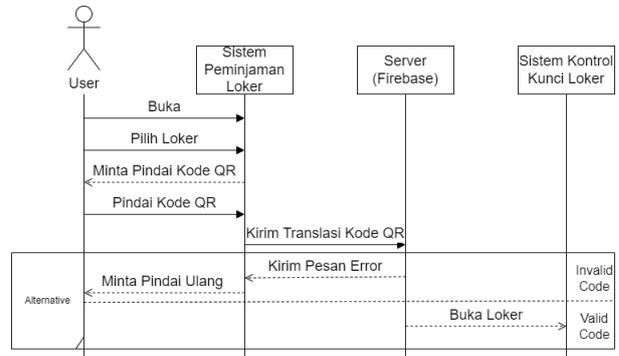
Sistem yang dibuat menggunakan kamera untuk mengambil gambar dari wajah peminjam loker. kemudian gambar diproses menggunakan FaceNet sebagai metode face recognition yang menggunakan triplet loss function. Dengan menggunakan NVIDIA Jetson Xavier NX komputasi dapat dilakukan secara langsung tanpa data harus dikirim pada cloud dan mempercepat pemrosesan data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Edge Computing pada smart locker dapat mengurangi beban komputasi yang dilakukan karena data tidak perlu dikirim pada server terlebih dahulu untuk diproses. Penggunaan face recognition sebagai metode autentikasi juga mengeliminasi kebutuhan barang tambahan yang harus dimiliki sebagai kunci locker.

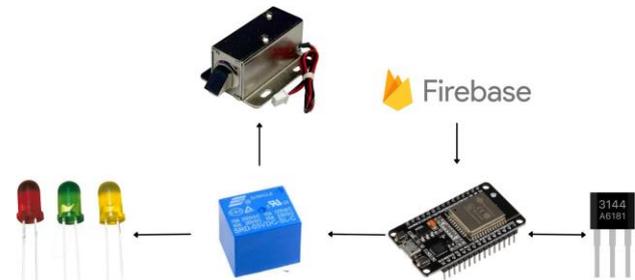
B. Smart E-Locker System using IoT

Pada jurnal "Smart E-Locker System using IoT" oleh Keerti R Umadi dilakukan implementasi smart locker menggunakan IoT dan RFID. Dengan menggunakan RFID maka penggunaan autentikasi dapat dikontrol dan dicatat pada server dan juga sistem notifikasi melalui e-mail [3].

Komponen utama yang digunakan pada perancangan smart locker adalah ESP8266, RFID Sensor, Sensor Ultrasonic, dan buzzer. sistem dibangun dengan menyambungkan sensor dan buzzer pada nodeMCU lalu kemudian data yang didapat dikontrol melalui Adafruit Cloud Service. Kerja sistem tersebut awalnya dengan



Gambar 3. Proses buka.



Gambar 4. Konektivitas sistem kontrol kunci loker.

mengecek apakah ada object di depan RFID sensor dengan menggunakan sensor ultrasonik, kemudian jika terdeteksi maka RFID sensor akan menyala dan akan mengecek ID dari kartu yang ditempel. Jika kartu teregister maka locker akan terbuka sedangkan akan terus tertutup jika tidak teregister. Data peminjaman dan autentikasi kemudian tersimpan pada adafruit Cloud.

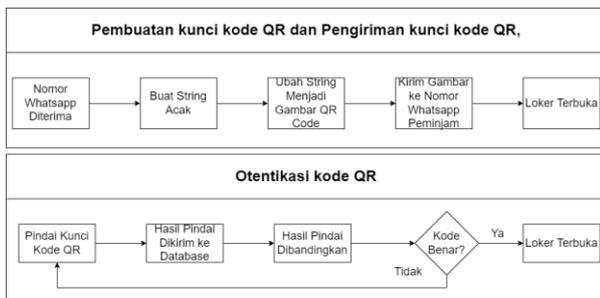
Hasil penelitian menunjukkan penggunaan autentikasi satu factor yaitu hanya dengan menggunakan kartu RFID saja. hal ini bersifat simpel dan cepat dan juga penggunaan cloud akan mempermudah dalam pengontrolan sistem peminjaman. Namun penggunaan kartu RFID memiliki konsep yang hampir sama dengan kunci mekanikal yang mana keduanya memiliki masalah dimana peminjam memiliki keharusan untuk membawa barang fisik dalam kasus ini yaitu kartu RFID dan kunci bisa berisiko hilang atau dicuri.

III. METODOLOGI

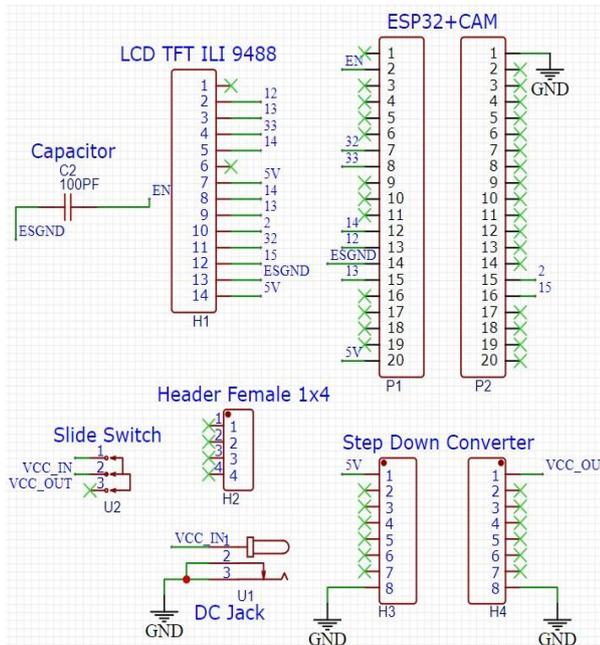
Perancangan dan pembuatan dilakukan sesuai dengan metodologi yang pembuatan yang sudah ditentukan. Tahapan pembuatan tersebut dijelaskan pada blok diagram yang dilakukan secara sekuensial. Perancangan mencakup pembuatan dua alat yaitu Sistem peminjaman loker dan sistem kontrol kunci loker dan pengaturan fungsi Firebase. Diagram metodologi tertera pada Gambar 1.

A. Sistem Peminjaman Loker

Sistem Peminjaman Loker adalah sistem yang bertanggung jawab dalam proses peminjaman loker dan terdiri dari dua bagian utama, tampilan layar sentuh dan mikrokontroler yang tersambung dengan kamera. Sistem juga dibagi menjadi dua tugas pemrosesan tergantung permintaan yang diminta, kedua permintaan tersebut adalah pinjam dan buka dan sesuai dengan namanya pinjam berarti proses peminjaman loker dan buka adalah proses pembukaan loker. Dengan menggunakan tampilan layar



Gambar 5. Proses pembuatan, pemngiriman dan otentifikasi kode QR

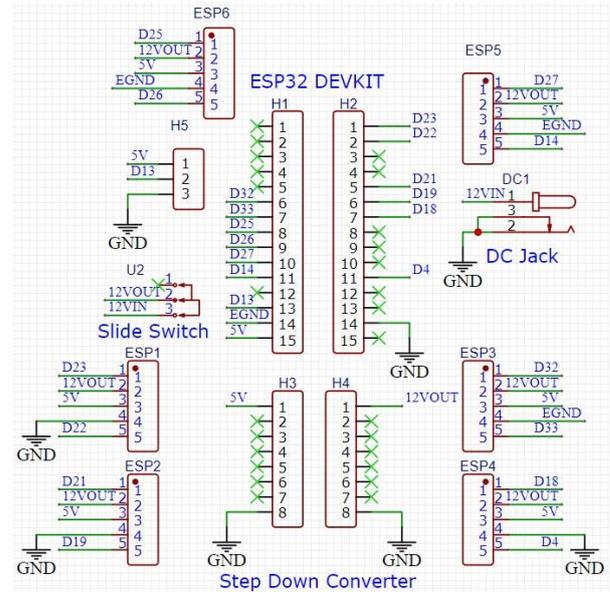


Gambar 6. Skematik sistem peminjaman loker.

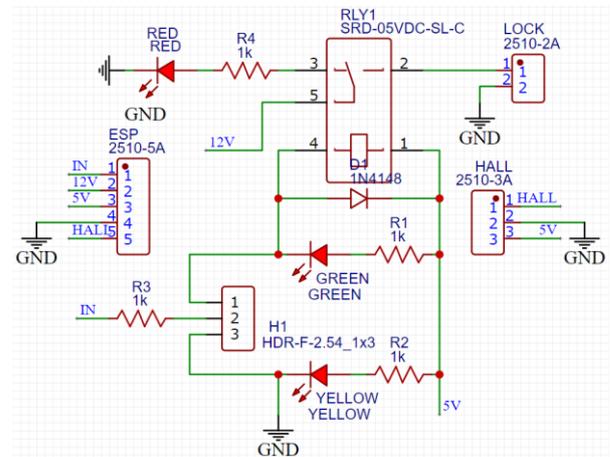
sentuh pemilihan tindakan yang diinginkan dapat dilakukan di layar menu utama.

Pinjam adalah permintaan untuk menyewa loker. Permintaan peminjaman dapat dimulai dengan memilih menu menggunakan layar sentuh. Pengguna akan diminta untuk memilih nomor loker yang diinginkan yang sedang tersedia atau kosong. data ketersediaan loker ini diambil dari database untuk ditampilkan di layar. Setelah memilih loker yang diinginkan, pengguna akan diminta untuk memasukkan nomor whatsapp mereka. nomor ini hanya dapat digunakan dengan nomor kode negara +62 dan memiliki rangkaian angka yang valid. Jika semua input telah terisi, nomor tersebut akan dikirim ke database dimana fungsi akan memproses langkah selanjutnya yaitu menghasilkan gambar kode QR yang akan dikirim kembali ke nomor pengguna sebagai kunci loker mereka. Pintu loker akan terbuka secara otomatis setelah semua proses berhasil dilakukan, yaitu ketika pengguna menerima kunci QR code. Proses pinjam tertera pada Gambar 2.

Buka adalah permintaan untuk membuka loker yang dipinjam. Membuka pintu loker dapat dilakukan dengan menggunakan kunci kode QR yang telah diberikan sebelumnya pada permintaan peminjaman. Meminta membuka loker dengan memilih menu buka pada tampilan layar sentuh. Setelah itu pengguna akan diminta untuk memilih loker yang dipinjam dan diminta untuk memindai kunci kode QR yang terkait dengan loker tersebut dengan menggunakan kamerayang tersedia. Kamera kemudian akan



Gambar 7. Skematik sistem kontrol kunci loker (mikrokontroler).

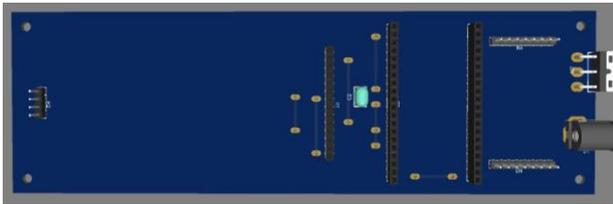


Gambar 8. Skematik sistem kontrol kunci loker (relai).

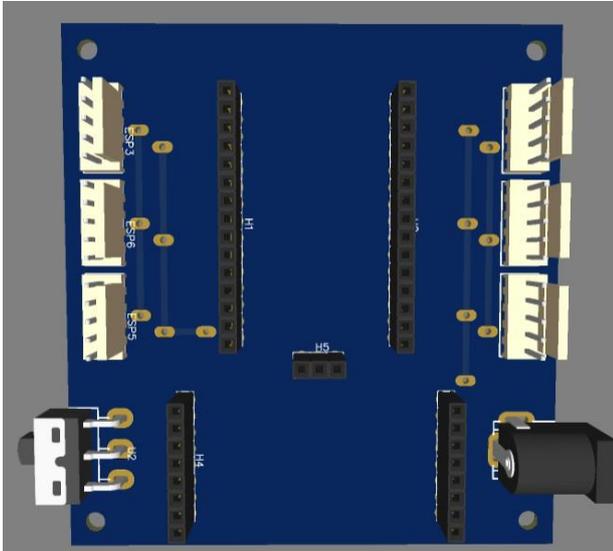
terus mencari kode QR sampai kode tersebut tertangkap dan dipindai. Kode QR yang dipindai kemudian dikirim ke database untuk diperiksa apakah itu kode yang benar. Jika kodenya benar, server akan mengirimkan perintah untuk membuka pintu loker. Jika kode salah, pengguna akan diminta untuk mencoba kembali. Sedangkan Gambar 3 merupakan proses buka.

B. Sistem Kontrol Kunci Loker

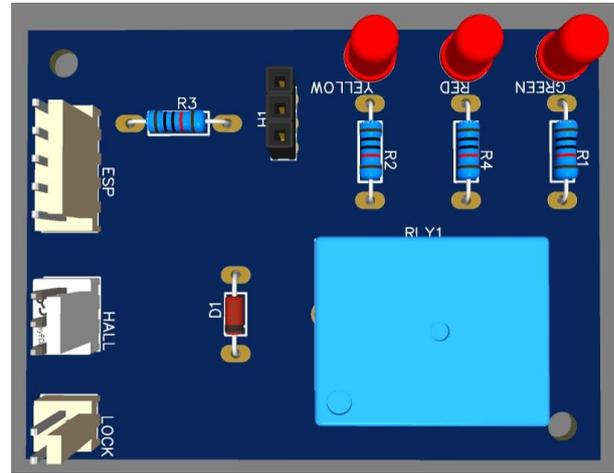
Sistem Kontrol Kunci Loker adalah sistem yang mengontrol status kunci loker. Bagian yang membangun sistem ini adalah mikrokontroler, relai, led, sensor hall, dan pengunci elektronik. Mikrokontroler digunakan sebagai penerima perintah yang akan diberikan dari server serta mengendalikan relai. Led digunakan sebagai indikator status untuk menandakan apakah pintu dalam keadaan terbuka atau terkunci dengan menggunakan dua buah led, yaitu merah untuk terkunci dan hijau untuk tidak terkunci sedangkan satu led kuning menandakan bahwa relai aktif. pengunci elektronik berfungsi sebagai bagian yang mencegah pintu tidak dapat dibuka ketika terkunci. Hall sensor akan digunakan sebagai pendeteksi magnet dimana magnet ditempatkan di pintu loker. Ketika sensor mendeteksi magnet dalam jarak dekat, sensor akan mengirimkan perintah untuk mengunci pintu untuk



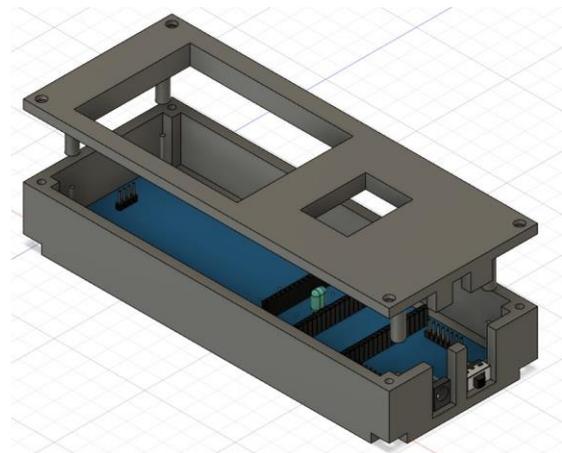
Gambar 9. PCB sistem peminjaman loker (atas).



Gambar 10. PCB sistem kontrol kunci loker (mikrokontroleratas).



Gambar 11. PCB sistem kontrol kunci loker (relai atas).



Gambar 12. Enclosure sistem pinjam loker.

mengotomatiskan proses penguncian. Baik led maupun pengunci elektronik akan dikontrol menggunakan relai yang juga dikontrol oleh mikrokontroler sedangkan sensor hall terhubung langsung ke mikrokontroler. Konektivitas kontrol kunci tertera pada Gambar 4.

C. Sistem Pengiriman dan Otentikasi Kode Qr

Sistem Pengiriman dan Otentikasi Kode Qr adalah sistem yang mengatur pembuatan kunci kode QR, pengirim kunci kode QR, dan otentikasi kunci kode QR di mana semua prosesnya terjadi di cloud menggunakan fungsi. Pembuatan kunci kode QR terjadi segera setelah pengguna mengirimkan nomor whatsapp mereka melalui sistem peminjaman loker. Setelah nomor disimpan ke dalam database, fungsi akan dipicu untuk menghasilkan string acak numerik dan alfabet dengan panjang 26 karakter dan kemudian disimpan dalam database. String karakter acak ini akan diubah menjadi gambar kode QR yang kemudian akan disimpan ke dalam penyimpanan database. Ketika gambar berhasil disimpan, fungsi akan berlanjut ke pengirim kunci QR code untuk mengirimkan gambar ke pengguna yang memintanya melalui pesan whatsapp. Pesan tersebut akan berisi gambar dan nomor loker yang dipilih. Otentikasi kode QR terjadi ketika kunci kode QR yang diambil dan dipindai terdeteksi. Di server, fungsi akan membandingkan nilai kunci kode QR yang dipindai dengan string acak yang telah dibuat sebelumnya. Jika kode cocok, fungsi akan meneruskan perintah untuk membuka loker pengguna. Proses pembuatan, pengiriman dan otentifikasi kode QR tertera pada Gambar 5.

IV. ARSITEKTUR

Arsitektur mencakup penjelasan mengenai perangkat alat sistem yang dibuat dimana mencakup Hardware dan

Software yang digunakan, Skematik Alat, PCB Alat, Enklosur Alat, dan Struktur Kerja Sistem.

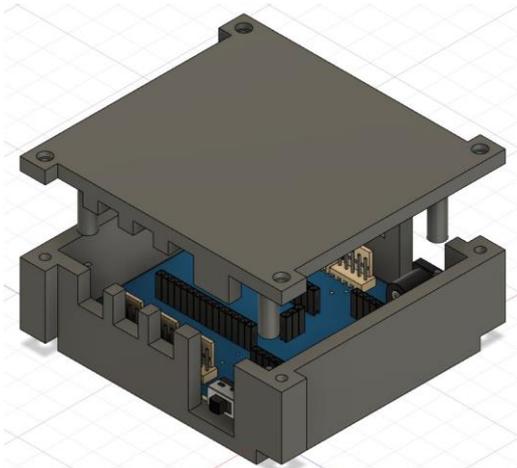
A. Hardware dan Software yang digunakan

Berikut ini beberapa Hardware dan juga Software yang digunakan pada pembuatan sistem seperti berikut:

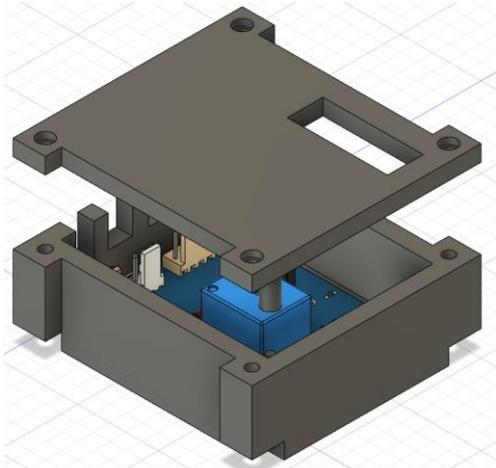
1. Arduino IDE
2. ESP32-WROVER-DEV + CAMERA
3. TFT 3.5" LCD Serial ILI9488
4. Solenoid Door Lock 12V
5. Firebase
6. Twilio
7. Laptop
8. Led
9. Relai
10. Hall Sensor
11. Resistor
12. Transistor
13. Capacitor
14. Step-down Module
15. JST Connector 2, 3, 5 Pin
16. Visual Studio Code
17. ESP32 Doit DevKit V1
18. Autodesk Fusion

B. Skematik Alat

Perangkat yang dibuat dalam penelitian ini terdiri dari dua skematik, satu untuk Sistem Peminjaman Loker dan satu lagi untuk Sistem Kontrol Kunci Loker. Keduanya menggunakan mikrokontroler ESP-32 untuk mengontrol komponen yang tersambung dengan pin IO serta berkomunikasi dengan



Gambar 13. Enclosure sistem kontrol kunci loker (Mikrokontroler).

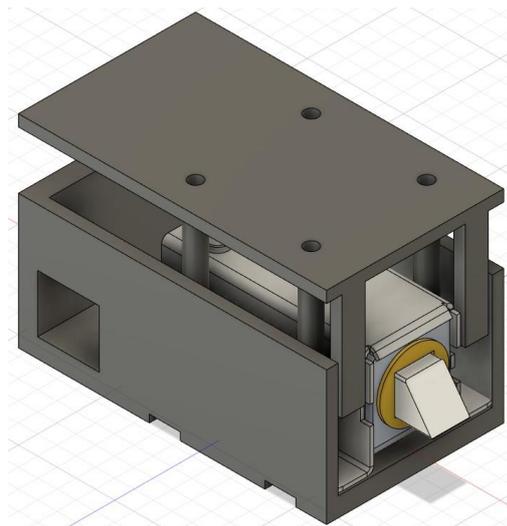


Gambar 14. Enclosure sistem kontrol kunci loker (relai).

server. Perangkat Sistem Peminjaman Loker berfungsi untuk memproses pemindaian kode QR yang menggunakan kamera yang terpasang dan juga mengirimkan permintaan peminjaman ke server yang menggunakan Wifi. Sistem Pengunci Loker beroperasi untuk mengontrol kunci menggunakan relai pada pintu loker dimana perintah akan datang melalui server yang dapat diterima dengan menggunakan kemampuan Wifi pada mikrokontroler. Skematik sistem peminjaman loker tertera pada Gambar 6.

Perangkat untuk Sistem Peminjaman Loker menggunakan ESP32-CAM sebagai pengontrol utamanya, lebih khusus lagi modul board ESP32-WROVER-DEV dengan Kamera. Modul ini mengintegrasikan ESP32 dengan kamera di dalam papan sehingga sudah terhubung secara internal dengan pin I/O yang sudah ditentukan. Sisa pin I/O yang tersedia digunakan untuk menghubungkan ke LCD TFT dengan driver ILI9488 bawaan dan IC XPT2046 untuk memproses tampilan dan layar sentuh. Pin EN terhubung ke kapasitor 100 uf untuk memastikan ESP32 melakukan booting ulang setiap kali dinyalakan. Papan ESP32 menggunakan 5 volt untuk menyalakannya dan untuk memastikan tegangan yang disuplai cukup dan tidak terlalu tinggi, daya yang disuplai akan melalui konverter step down untuk membuat daya tetap pada 5 volt. sistem ini juga memiliki saklar untuk mematikan atau menghidupkan perangkat dan DC Jack untuk konektor tegangan.

Perangkat Sistem Kontrol Kunci Loker (Mikrokontroler) juga menggunakan mikrokontroler ESP32 meskipun tanpa



Gambar 15. Enclosure solenoid.



Gambar 16. Sistem peminjaman loker.

kamera yang terpasang. Pin-pin I/O ESP32 akan digunakan untuk mengendalikan beberapa Sistem Kontrol Kunci Loker (relai) yang dihubungkan melalui beberapa konektor JST 5 pin. Perangkat ini membutuhkan tegangan 5 volt untuk diaktifkan sehingga untuk memastikan tegangan yang dibutuhkan cukup dan tidak terlalu tinggi, tegangan yang dicolokkan dalam hal ini 12 volt akan terlebih dahulu melalui konverter step down untuk menurunkan tegangan menjadi 5 volt. Tegangan 12 volt juga dikirim ke relai menggunakan konektor untuk digunakan sebagai kontrol kunci elektronik. Jack DC akan menjadi konektor yang menerima tegangan dari adaptor dan saklar geser akan mengontrol menyalanya perangkat. Skematik sistem kontrol kunci loker (mikrokontroler) tertera pada Gambar 7.

Perangkat Sistem Kontrol Kunci Loker (Relai) adalah relai yang dimodifikasi sehingga digunakan untuk mengontrol kunci elektronik. Perangkat ini memiliki 3 konektor JST dengan pin yang bervariasi seperti 5 pin, 3 pin dan 2 pin untuk kemudian dihubungkan ke perangkat atau periferal lain. Perangkat ini juga memiliki tiga buah LED dan resistor khusus yang terhubung dengannya untuk mengontrol arus yang mengalir melaluinya. Relai ini dikendalikan oleh input digital ESP32 yang kemudian juga dikendalikan melalui transistor NPN yang terhubung ke pin input relai. Sedangkan Gambar 8 merupakan skematik sistem kontrol kunci loker (relai).

C. PCB Alat

Skematik Sistem Peminjaman Loker yang telah dibuat sebelumnya digunakan sebagai acuan untuk penempatan komponen elektronik, kemudian dapat digunakan untuk membuat desain PCB yang sesuai dengan koneksi skematik. PCB terdiri dari dua lapisan jalur, bagian bawah dan atas

Tabel 1.

Hasil Waktu Delay Permintaan Peminjaman Loker

Request	Start	End	Delay
1	02:27:34.023	02:31:35.836	0:04:1.813
2	02:33:06.155	02:35:48.837	0:02:42.682
3	02:53:59.651	02:56:46.347	0:02:46.696
4	02:58:09.939	02:58:37.044	0:00:27.105
5	02:59:36.351	03:00:05.537	0:00:29.186
6	03:01:18.083	03:01:46.437	0:00:28.354
7	03:03:12.139	03:03:41.237	0:00:29.098
8	03:04:28.346	03:04:48.736	0:00:20.39
9	03:06:02.842	03:06:31.436	0:00:28.594
10	03:06:59.493	03:07:27.244	0:00:27.751
11	03:08:15.695	03:08:38.337	0:00:22.642

Tabel 2.

Hasil Waktu Delay Permintaan Pembukaan Loker

Request	Start	End	Delay
1	22:16:11.446	22:18:58.413	0:02:46.967
2	22:23:20.893	22:25:04.713	0:01:43.82
3	22:28:18.258	22:29:13.513	0:00:55.255
4	22:30:50.303	22:31:01.113	0:00:10.81
5	22:32:48.624	22:32:59.613	0:00:10.989
6	22:38:04.904	22:38:14.413	0:00:9.509
7	22:41:29.244	22:41:39.113	0:00:9.868
8	22:43:36.558	22:43:43.315	0:00:6.757
9	22:48:06.985	22:48:15.559	0:00:8.574
10	22:59:18.326	22:59:26.330	0:00:8.004



Gambar 17. Sistem kontrol kunci loker (mikrokontroler).

dimana kedua jalur tersebut akan dihubungkan dengan menggunakan kabel untuk koneksi yang dibutuhkan. Komponen utama tidak akan terhubung langsung ke PCB melalui penyolderan, dan akan menggunakan header female di mana komponen yang terpasang header male dapat dengan mudah dimasukkan dan dikeluarkan untuk kemudahan penggunaan dan pemasangan. Komponen ditempatkan secara berurutan dari kiri ke kanan dengan urutan Layar LCD TFT, Kapasitor, ESP32-CAM, Step Down Converter, dan DC Jack dengan saklar. Desain PCB berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 19 cm dan tinggi 6 cm dengan lubang berdiameter 3 mm pada keempat sisinya untuk meletakkan spacer atau sekrup. Penempatan header akan menggunakan solder yang berbentuk oval dengan ukuran lebar 1.8 mm dan tinggi 3 mm serta lubang berdiameter 1.2 mm untuk memasukkan kaki header. PCB sistem peminjaman loker (atas) tertera pada Gambar 9.

Untuk sistem kontrol kunci loker, yang terdiri dari dua skematik dimana satu untuk koneksi periferil mikrokontroler dan satu lagi adalah koneksi relai, dapat digunakan untuk mendesain PCB yang sesuai dengan koneksi skematik tersebut. kedua PCB tersebut digunakan bersama-sama dimana mikrokontroler akan terhubung ke relai dengan menggunakan konektor kabel.

Desain PCB Sistem Kontrol Kunci Loker (mikrokontroler) berbentuk persegi panjang berukuran



Gambar 18. Sistem kontrol kunci loker (relai).



Gambar 19. Sistem pengunci solenoid dan hall sensor.

lebar 8 cm dan tinggi 7,5 cm dengan lubang berdiameter 3 mm pada keempat sisinya untuk penempatan sekrup atau spacer. Komponen akan ditempatkan menggunakan header female yang ditempatkan pada PCB dan terdiri dari dua lapisan jalur, bagian bawah dan atas yang mana kedua jalur tersebut akan dihubungkan menggunakan kabel untuk koneksi yang membutuhkan. Komponen utama tidak akan terhubung langsung ke PCB melalui penyolderan, melainkan akan menggunakan header female di mana komponen yang memiliki header male di dalamnya dapat dengan mudah dimasukkan dan dikeluarkan untuk kemudahan penggunaan. Penempatan header akan menggunakan soldering pad yang berbentuk oval dengan ukuran lebar 1.8 mm dan tinggi 3 mm serta lubang berdiameter 1.2 mm untuk memasukkan kaki header. Sebagian besar komponen yang ditempatkan pada PCB ini terutama adalah konektor terutama konektor JST 5 pin yang terletak di sekeliling atas PCB. Bagian tengah PCB adalah penempatan ESP32 dan tepat di bawahnya terdapat Step Down Converter yang berada di antara DC Jack dan Saklar Geser. PCB mikrokontroler atas tertera pada Gambar 10.

Pada desain PCB Sistem Kontrol Kunci Loker (relai) yang tertera pada Gambar 11, bentuknya persegi panjang dengan panjang 6 cm dan tinggi 4,5 cm dengan lubang berdiameter 3 mm pada sudut kiri atas dan kanan bawah PCB untuk penempatan sekrup atau spacer. PCB ini hanya memiliki satu lapisan jalur yaitu jalur paling bawah yang menghubungkan semua sambungan komponen dan menyisakan lapisan paling atas untuk penempatan komponen saja. Komponen utama dari PCB ini adalah relai yang diletakkan di tengah agak ke kiri dengan tepat di atasnya terdapat tiga buah LED berdiameter 5 mm dengan warna yang bervariasi yaitu kuning, merah dan hijau. Tiga buah LED ini digunakan sebagai indikator relai yang juga terhubung dengan relai tersebut. Tran- sistor NPN yang diletakkan di atas relai sebelah kiri digunakan sebagai sinyal input untuk mengontrol aktivasi relai. Terdapat juga beberapa resistor untuk membatasi arus yang mengalir agar

komponen tidak terbakar ketika diberi tegangan. Posisi paling kiri dari PCB adalah penempatan konektor khususnya konektor JST dengan berbagai macam pin seperti 5 pin, 3 pin dan 2 pin. Konektor 5 pin digunakan untuk menghubungkan PCB ini ke PCB sistem kontrol kunci loker (Mikrokontroler), pin 3 dihubungkan ke sensor hall untuk mendeteksi penutupan pintu menggunakan magnet, dan terakhir pin 2 dihubungkan ke kunci elektronik.

D. *Enklosur Alat*

Enclosure terdiri dari dua bagian, yaitu bagian bawah dan bagian atas. Bagian bawah digunakan sebagai penempatan PCB sedangkan bagian atas digunakan untuk menutup enclosure ke bentuk yang ringkas. Enclosure didesain menggunakan autodesk fusion 360 dan kemudian dicetak menggunakan printer 3D dengan bahan material PLA.

Enklosur untuk PCB sistem peminjaman loker dibuat juga dengan dua bagian. Bagian bawah, untuk penempatan PCB, berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang persegi panjang bagian bawah 20 cm dan lebar 7,2 cm. ukuran itu sendiri sedikit lebih besar dari PCB sehingga memberi ruang untuk kesalahan presisi pencetakan. Di empat sisi bagian bawahnya diekstrusi persegi panjang ke atas berukuran tinggi 25 cm untuk menutup bagian bawah. Pada bagian paling kanan terdapat lubang berbentuk persegi panjang untuk jack DC dan saklar geser dari PCB agar dapat menonjol keluar. Bagian atas terdiri dari dua lubang berbentuk persegi panjang, satu untuk layar LCD TFT dan satu lagi untuk kamera ESP32. Kedua bagian tersebut akan dihubungkan dengan sekrup yang akan ditempatkan di empat sisi enclosure yang memiliki lubang berdiameter 3,5 mm. Enclosure pinjam loker tertera pada Gambar 12.

Enklosur untuk PCB sistem kontrol kunci loker (Mikrokontroler) lebih kecil dibandingkan dengan sistem peminjaman loker. Bagian bawah berukuran panjang 9,2 cm dan lebar 8,9 cm dengan perimeter yang juga memiliki persegi panjang yang diekstrusi ke atas untuk melingkupinya. Enklosur ini juga memiliki beberapa jalur lubang untuk komponen yang akan keluar seperti lubang untuk kabel dan juga jack DC dan lubang saklar geser dan Memiliki tinggi 3 cm untuk membuat semua komponen masuk ke dalamnya. Bagian atas, yaitu bagian yang menutup penutup berbentuk seperti bagian bawah tetapi tanpa ekstrusi sekelilingnya. Bagian ini memiliki lubang berdiameter 3 mm di empat sudutnya sebagai lubang untuk penempatan sekrup dan baut. Hal ini tertera pada Gambar 13.

Enklosur untuk PCB Sistem Kontrol Kunci Loker (Relai) yang tertera pada Gambar 14, memiliki dua bagian utama yaitu bagian bawah dan bagian atas. Bagian bawah berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan PCB tersebut dimana enklosur ini memiliki ukuran panjang 7,4 cm dan lebar 6,1 cm dengan sekelilingnya memiliki persegi panjang yang tegak lurus keatas dengan tinggi 2,5 cm. Enklosur ini juga memiliki beberapa lubang untuk komponen seperti kabel agar bisa dimasukan dan juga lubang agar LED dapat terlihat. Di tiap sudutnya terdapat lubang berdiameter 3 mm yang digunakan untuk pemasangan baut atau sekrup agar enklosur dapat ditutup dengan bagian atasnya. Bagian atas enklosur memiliki panjang dan lebar yang sama namun memiliki tinggi 5 mm.

Enklosur Solenoid adalah enklosur yang digunakan untuk meletakkan *Solenoid* dan *Hall Sensor* agar tergabung menjadi satu di satu tempat. Enklosur solenoid tertera pada Gambar 15. Bentuk enklosur bagian bawah adalah persegi panjang dengan ukuran panjang 8 cm dan lebar 4,6 cm dimana sekeliling enklosur memiliki persegi panjang yang tegak lurus keatas untuk menutupinya dengan tinggi 3,5 cm. Desain enklosur memiliki beberapa lubang yang digunakan untuk masuk atau keluarnya komponen seperti kabel, *Hall Sensor* dan *Solenoid*. Bagian atas solenoid juga memiliki panjang dan lebar yang sama dengan bagian bawah namun memiliki tinggi 3 mm. Enklosure memiliki 4 lubang dengan diameter 3 mm untuk pemasangan sekrup atau baut agar enklosure dapat tertutup.

V. HASIL PERCOBAAN

Hasil dari pengujian perangkat terdiri dari beberapa skenario dan efisiensi yang dapat dicapai oleh sistem dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan antara lain ESP32, Kamera, Display, QR Code Scanner, Fire-base Function. Skenario hasil pengujian ini terdiri dari:

1. Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Peminjaman Loker
2. Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Pembukaan Loker

A. *Pengujian Waktu delay Permintaan Peminjaman Loker*

Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Peminjaman Loker digunakan untuk menguji berapa banyak permintaan yang diperlukan agar fungsi Pengirim Kode QR yang memiliki *Cold Start* dapat berfungsi dalam waktu normal atau *Hot Start*. Perhitungan waktu dimulai dengan saat peminjam mengirimkan nomor whatsapp mereka pada permintaan peminjaman. Nomor yang terkirim akan masuk dalam *Firebase Realtime Database* dan akan diproses dengan fungsi-fungsinya. Perhitungan selesai saat kode QR sudah terkirim dan loker terbuka. Pengujian dilakukan dengan menggunakan nomor yang sama berulang 11 kali.

Data yang diperoleh menghasilkan penurunan *delay* seiring dengan bertambahnya permintaan dalam jangka waktu yang singkat. Permintaan pertama membutuhkan waktu paling lama karena fungsi tersebut masih dalam keadaan *Cold Start* dan permintaan berikutnya dari permintaan kedua hingga keempat kita dapat melihat penurunan *delay* secara bertahap dan pada permintaan berikutnya setelah itu membutuhkan waktu rata-rata 26 detik untuk menyelesaikan permintaan. Hasil waktu *delay* tertera pada Tabel 1.

B. *Pengujian Waktu delay Permintaan Pembukaan Loker*

Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Pembukaan Loker digunakan untuk menganalisis waktu yang diperlukan kode QR yang dipindai dari Permintaan Buka Loker hingga diautentikasi dan loker terbuka. Proses yang dianalisis dimulai dari pengambilan kode QR yang dipindai dan mengirimkannya ke *Firebase Realtime Database* di mana kode tersebut akan diproses oleh fungsi untuk diotentikasi lebih lanjut dan hasil otentikasi akan diteruskan ke Sistem Kunci Loker menggunakan protokol MQTT. Pengujian ini menggunakan kode QR yang benar untuk seluruh pengujian sehingga pembukaan loker selalu tercapai. Permintaan diulang sebanyak 10 kali dan penundaan secara keseluruhan

dihitung untuk mendapatkan waktu rata-rata.

Dari data yang diperoleh pada Tabel 2, *Delay* waktu yang dibutuhkan dari pemindaian kode QR hingga loker terbuka hanya mengalami penurunan *Waktu* seiring dengan bertambahnya permintaan pembukaan loker. Permintaan pertama dalam kondisi *Cold Start* yang didapat memiliki *Delay* sebesar 2 menit 46 detik dimana waktu *Delay* ini akan terus menurun pada permintaan selanjutnya dengan fungsi memiliki *Delay* waktu yang stabil pada permintaan keempat dan seterusnya. Pada kondisi stabil atau fungsi *Hot Start* waktu yang dibutuhkan memiliki rata-rata 9 detik untuk menyelesaikan permintaan.

C. Hasil Perangkat Sistem

Hasil perangkat sistem adalah hasil penyusunan semua komponen dari skematik, PCB, dan enclosure hingga menjadi satu perangkat alat sistem. Sistem peminjaman loker tertera pada Gambar 16. Sedangkan Gambar 17 menunjukkan sistem kontrol kunci loker (mikrokontroler). Gambar 18 menunjukkan sistem kontrol kunci loker (relai) dan Gambar 19 menunjukkan sistem pengunci solenoid dan *hall sensor*.

VI. KESIMPULAN

Pada Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Peminjaman

Loker hasil yang didapatkan digunakan untuk mengetahui berapa banyak permintaan yang harus dipanggil agar fungsi yang bertanggung jawab untuk memproses peminjaman dapat keluar dari *Cold Start* dan berkerja secara normal atau *Hot Start* adalah sekitar 3 permintaan dimana waktu paling rendah memiliki rata-rata 26 detik.

Pada Pengujian Waktu *Delay* Permintaan Pembukaan Loker hasil yang didapatkan menunjukkan berapa lama proses otentikasi kode QR hingga loker dapat terbuka dimana *Delay* yang didapatkan memiliki waktu penurunan pada permintaan keempat dan seterusnya dimana fungsi berada pada kondisi *Hot Start* dan memiliki rata-rata waktu penyelesaian permintaan selama 9 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. F. Alqahtani, J. A. Albuainain, B. G. Almutiri, S. K. Alansari, and G. B. AL-awwad, "Automated Smart Locker for College," in *2020 3rd international conference on computer applications & information security (ICCAIS)*, 2020, pp. 1--6.
- [2] W.-C. Cheng, H.-C. Hsiao, Y.-K. Chou, C.-W. Chen, and C.-L. Chang, "The Implementation of Smart Locker in Edge Computing," in *2022 8th International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, 2022, pp. 170--173.
- [3] K. R. Umadi, A. Aishwarya, J. E. Narendramath, and S. Inchara, "Smart E-locker System using IOT," in *2023 International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)*, 2023, pp. 41--45.