


Implementasi Qr Code Sebagai Autentikasi Pembuka Brankas dengan Raspberry PI

Ahmad Taufiq Nashrulloh¹, Mohammad Nasrul Mubin², Fajar Suryawan³, Dedi Ary Prasetya⁴

^{1,2,3,4}Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Jawa tengah, Indonesia

 Email korespondensi: D400210149@student.ums.ac.id

Abstrak. Keamanan barang berharga menjadi aspek krusial di era digital, terutama menghadapi berbagai ancaman pencurian yang semakin kompleks. Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan brankas menggunakan autentikasi *QR code* dinamis yang diintegrasikan dengan Raspberry Pi sebagai pengolah utama. *QR code* dibuat pada aplikasi web dengan algoritma *HMAC SHA256* dan diperbarui setiap satu menit untuk mengurangi risiko penyalahgunaan kode. Sistem mendeteksi dan memverifikasi *QR code* secara real-time menggunakan kamera yang terhubung dengan *Raspberry Pi*, kemudian dilanjutkan dengan autentikasi kata sandi sebagai lapisan keamanan tambahan. Pengujian menunjukkan sistem mampu membaca *QR code* dengan efektif hingga jarak 50–60 cm dan mempertahankan validitas kode hanya pada window waktu yang telah ditentukan. Pembatasan maksimal lima kali percobaan password yang salah menjamin perlindungan terhadap usaha akses tidak sah. Integrasi perangkat keras seperti relay dan solenoid doorlock memungkinkan pembukaan brankas secara otomatis setelah autentikasi berhasil. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa sistem ini menawarkan solusi autentikasi berlapis yang aman, efisien, dan mudah digunakan sebagai pengamanan brankas modern. Pengembangan sistem ke depan dapat meningkatkan kehandalan deteksi *QR code* dalam kondisi pencahayaan rendah serta menambah fitur monitoring keamanan.

Kata kunci: *QR code dinamis; Raspberry pi; autentikasi; brankas; HMAC SHA26*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi signifikan dalam sistem keamanan, khususnya dalam penyimpanan aset berharga seperti dokumen penting, perhiasan, dan barang bernilai tinggi. Brankas konvensional dengan kunci



mekanis telah lama menjadi solusi standar, namun kerentanannya terhadap duplikasi kunci dan pembobolan paksa mendorong inovasi menuju sistem autentikasi digital yang lebih canggih (Kharisma et al., 2021). Dalam era *Internet of Things* (IoT) dan komputasi terdistribusi, teknologi *QR code* muncul sebagai solusi autentikasi yang praktis, hemat biaya, dan mudah diimplementasikan.

QR code (*Quick Response Code*) memiliki kemampuan menyimpan hingga ribuan karakter data dalam format matriks dua dimensi yang dapat dibaca secara cepat menggunakan kamera digital (Irawan et al., 2024). Keunggulan utama *QR code* terletak pada fleksibilitas distribusi digital, kemampuan regenerasi dinamis, dan dukungan terhadap multi-factor authentication. Sistem *QR code* dinamis, yang mampu berubah dalam interval waktu tertentu, memberikan lapisan keamanan tambahan dengan mencegah serangan replay dan kloning kode. Implementasi *time-based QR code* menggunakan algoritma *HMAC SHA256* memastikan setiap kode memiliki validitas terbatas, sehingga mengurangi risiko penyalahgunaan jika kode berhasil disadap (Denih et al., 2024).

Raspberry Pi, sebagai komputer papan tunggal berbiaya rendah, telah terbukti efektif dalam aplikasi *IoT* dan sistem kontrol akses (Bhat et al., 2021). Dengan dukungan pustaka pemrosesan citra seperti *OpenCV* dan *PYZBar*, *Raspberry Pi* mampu melakukan deteksi dan dekode *QR code* secara *real-time* dengan akurasi tinggi. Kombinasi teknologi ini memungkinkan pengembangan sistem brankas pintar yang tidak hanya mengandalkan pemindaian *QR code*, tetapi juga mengintegrasikan verifikasi kata sandi sebagai mekanisme autentikasi berlapis (Basit et al., 2022).

Penelitian terdahulu menunjukkan keberhasilan implementasi *QR code* untuk sistem keamanan pintu dan loker, dengan tingkat akurasi deteksi mencapai 90-95% pada jarak optimal 6-24 cm. Namun, sebagian besar penelitian masih terfokus pada autentikasi tunggal tanpa mempertimbangkan aspek keamanan berlapis dan pembatasan percobaan akses. Celah ini menjadi dasar pengembangan sistem yang mengkombinasikan *QR code* dinamis dengan verifikasi kata sandi serta pembatasan maksimal kesalahan untuk mencegah serangan *brute-force*.

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan web based untuk membuat *QR code* dengan pergantian setiap menit, deteksi *QR code* menggunakan *Raspberry Pi* dan kamera, serta verifikasi kata sandi dengan batasan maksimal lima kali percobaan salah. Jika batas percobaan terlampaui, sistem akan kembali ke tahap pemindaian *QR code*, menciptakan siklus keamanan yang ketat namun tetap mudah digunakan. Integrasi kontrol *solenoid* melalui *relay* memungkinkan aktivasi mekanis pembuka brankas secara otomatis setelah autentikasi berhasil.



METODE

Dalam penelitian ini, saya merancang sistem autentikasi berlapis untuk brankas dengan memanfaatkan *QR code* dinamis dan *Raspberry Pi*. Tujuannya adalah menciptakan metode keamanan yang lebih kuat dengan menggabungkan QR code yang terus berubah dan verifikasi kata sandi. Sistem ini dimulai dari aplikasi web berbasis Node.js dan Express.js yang menghasilkan QR code baru setiap menit menggunakan algoritma HMAC-SHA256. Setiap kode hanya berlaku selama 60 detik dan berisi kombinasi user ID dan waktu, sehingga tidak bisa digunakan ulang jika sudah kedaluwarsa.

Di sisi perangkat keras, *Raspberry Pi* dilengkapi kamera untuk memindai QR code secara real-time menggunakan OpenCV dan pustaka PYZBar. Hasil pemindaian kemudian diverifikasi dengan algoritma yang sama seperti saat pembuatan kode. Jika cocok, sistem akan meminta pengguna untuk memasukkan kata sandi sebagai lapisan kedua autentikasi.

Saya juga menambahkan batasan lima kali percobaan password yang gagal. Jika salah terus, sistem akan kembali ke tahap awal pemindaian QR code, ini dilakukan untuk menambah penguatan pada sistem keamanannya. Jika autentikasi sukses, *Raspberry Pi* akan mengaktifkan *relay* untuk membuka solenoid lock pada brankas selama beberapa detik. Saya mengatur durasi aktivasi cukup singkat agar efisien, tapi tetap memberi waktu bagi pengguna membuka brankas.

Pada Gambar 1 ditampilkan flowchart alur tahapan penelitian. Proses diawali dengan studi literatur terkait QR code dan penggunaan raspberry pi. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem, mulai dari penyusunan rangkaian, desain alat, hingga pemrograman web serta python untuk pencocokan QR code. Setelah alat selesai dirakit, dilakukan pengujian fungsional alat yang dibuat. Analisis hasil dilakukan pencocokan QR code menggunakan raspberry pi dan QR code dari web dengan variasi pencahayaan serta jarak untuk mengetahui tingkat akurasi. Penelitian diakhiri dengan penyusunan laporan yang merangkum seluruh proses dan hasil.

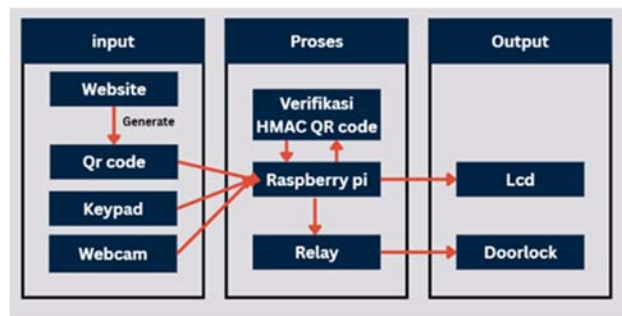


Gambar 1. Flowchart



A. SISTEM KERJA ALAT

Pada Gambar 2 secara sederhana menggambarkan tentang sebuah sistem yang akan berjalan. Pada blok pertama yaitu input dari program terdiri dari sebuah webcam yang digunakan untuk menangkap gambar *QR code* yang akan digunakan, Website untuk membuat *QR code* yang berisi signature (isi pesan yang dibuat menggunakan algoritma *HMAC SHA26* dan *secret key*) dan Keypad untuk memasukkan password. Kemudian pada blok kedua yaitu proses dari program, gambar *QR code* akan diambil menggunakan kamera, kemudian untuk pemrosesan akan dilakukan verifikasi dari signature *QR code* yang di generate di website lewat proses *HMAC SHA26* dan *secret key*. Jika hasil signature antara yang digenerate dan yang dibaca sama maka akan mengaktifkan *relay*. Terakhir pada blok output yaitu jika signature cocok akan mengaktifkan *relay* kemudian *relay* akan mentrigger solenoid *doorlock* agar dapat aktif atau membuka brankasnya. Selain itu ada tampilan lcd yang berisi gambar yang ditampilkan kamera dan tampilan masukan passwordnya.

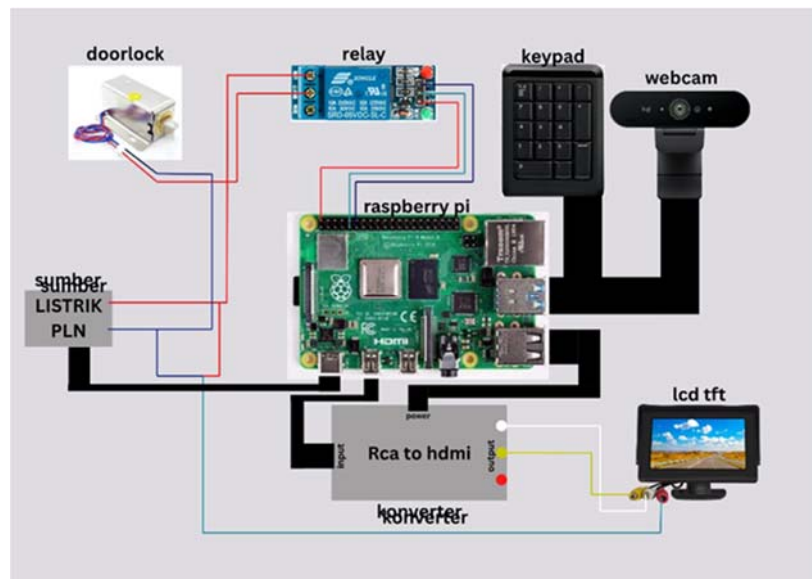


Gambar 2. Blok diagram system

B. PERANCANGAN ALAT

Pada Gambar 3 ini menampilkan diagram alat berbasis *Raspberry Pi*. Sistem ini terintegrasi dengan *webcam*, *keypad*, *relay*, *doorlock*, monitor RCA, konverter RCA to HDMI dan adaptor daya PLN. *Raspberry Pi* dijadikan sebagai pusat kontrol, yang menerima input dari *webcam* dan *keypad*. *Raspberry Pi* memantau *relay* untuk mengaktifkan atau memutus aliran ke *doorlock*. *Relay* menerima sinyal dari pin GPIO dan power dari pin 5V *Raspberry Pi*. *Doorlock* menerima power dari adaptor eksternal yang dioperasikan melalui *relay*. Output visual *Raspberry Pi* di transmisikan melalui HDMI to konverter HDMI to RCA, dan kemudian ke monitor analog. Seluruh komponen menerima suplai power PLN melalui adapter yang masing-masing. Diagram ini menampilkan alur kerja dan interface antar perangkat dalam sistem control akses secara implisit.





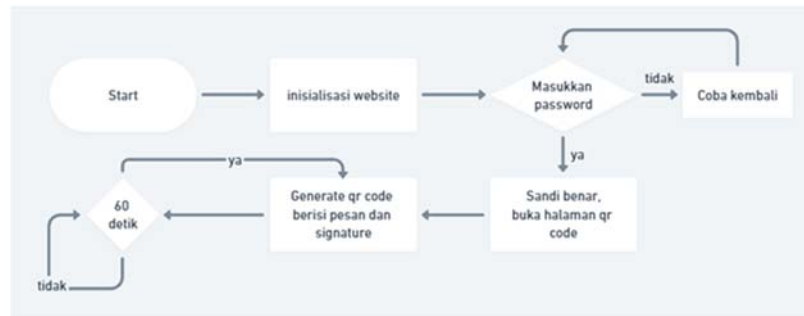
Gambar 3. Wiring Alat

C. PERANCANGAN SISTEM

Pada bagian perancangan sistem ini dijelaskan mengenai alur dari alat ini, dimana yang pertama merupakan pembuatan gambar *QR code* pada website. Kemudian yang kedua merupakan proses verifikasi dari gambar yang diambil dengan pencocokan signature untuk membuka doorlock brankas.

Pada gambar 4 merupakan flowchart alur pembuatan *QR code* yang digunakan dalam proses pembukaan brankas. Proses dimulai dari inialisasi website, di mana sistem menyiapkan seluruh fitur yang diperlukan untuk layanan generate *QR code*. Setelah website aktif, pengguna diwajibkan untuk melakukan verifikasi awal dengan memasukkan password. Jika password yang dimasukkan tidak sesuai, sistem akan meminta pengguna untuk mengulangi proses input hingga password yang benar dimasukkan. Setelah verifikasi berhasil, pengguna dapat mengakses halaman khusus untuk generate *QR code*. Pada tahap ini, sistem secara otomatis membuat *QR code* yang berisi gabungan pesan berupa user ID dan waktu pembuatan (*window*), serta *signature* yang dihasilkan dengan algoritma *HMAC SHA256* menggunakan kunci rahasia. *QR code* yang dihasilkan ini hanya berlaku selama 60 detik, sehingga jika *QR code* tidak digunakan dalam rentang waktu tersebut, maka *QR* dianggap kadaluarsa dan pengguna harus melakukan proses generate ulang. Mekanisme pembatasan waktu ini bertujuan untuk meningkatkan keamanan sistem, memastikan *QR code* hanya bisa digunakan satu kali dalam waktu singkat, dan mencegah potensi penyalahgunaan akses terhadap brankas.

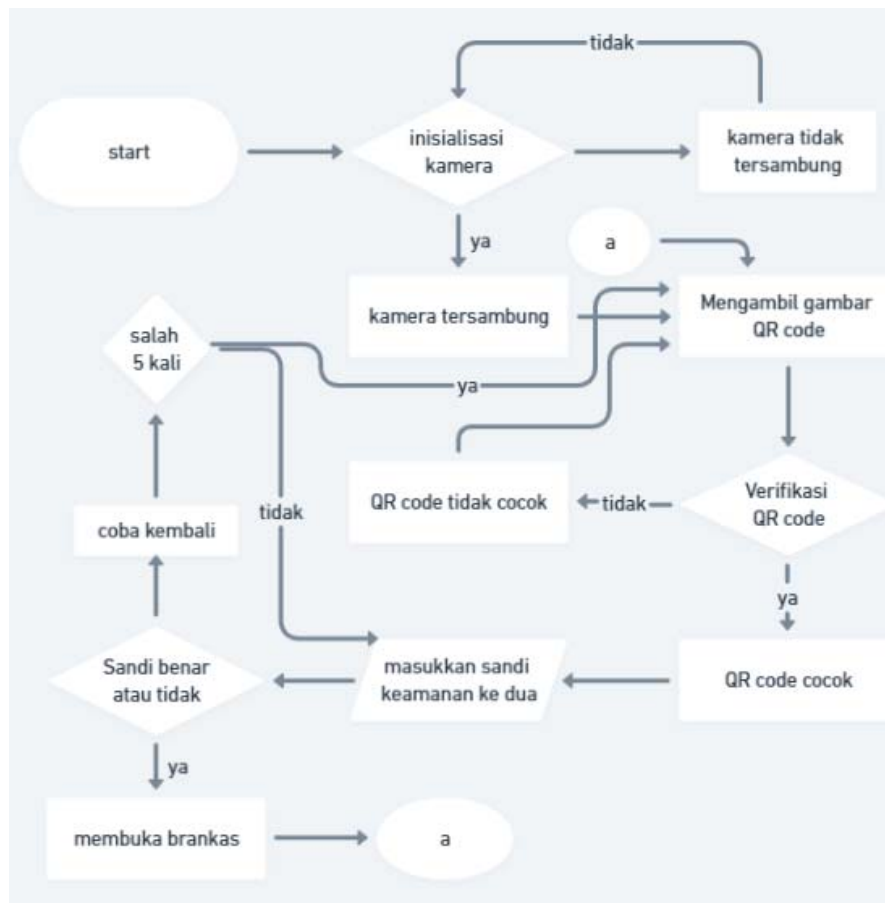




Gambar 4. Flowchart Pembuatan Qr Code

Pada gambar 5 merupakan flowchart proses verifikasi *QR code* untuk membuka brankas. Proses dimulai dengan inialisasi kamera, jika kamera tidak tersambung, sistem akan menampilkan pesan error. Setelah kamera terhubung, kamera mengambil gambar *QR code*, lalu sistem melakukan verifikasi *QR code*. Jika *QR code* tidak cocok, akan melakukan pengambilan lagi. Jika *QR code* cocok, pengguna diminta memasukkan sandi keamanan kedua. Jika sandi kedua benar, brankas akan terbuka. Jika salah akan diberikan pengulangan sampai 5 kali, dan jika 5 kali salah akan mengulang ke pengambilan gambar *QR code*. Mekanisme ini memastikan hanya pengguna yang lolos verifikasi *QR* dan sandi yang dapat mengakses brankas.



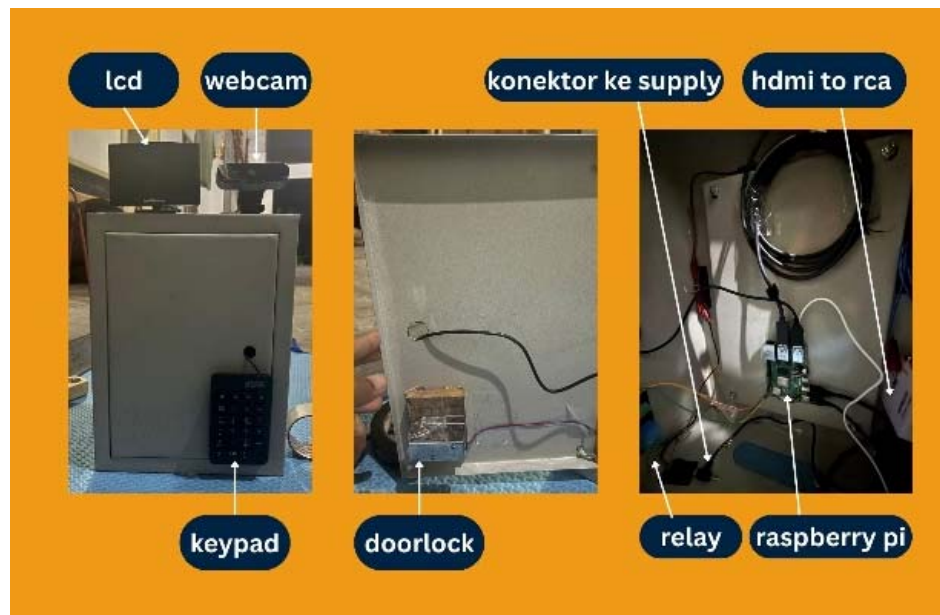


Gambar 5. Flowchart Sistem Verifikasi

HASIL

Pada Gambar 6 merupakan penempatan komponen alat pada box yang digunakan. Pada bagian luar box terdapat beberapa komponen meliputi webcam, dan *keypad* sebagai inputan ke *raspberry pi*, dan TFT LCD sebagai output dari *Raspberry pi* yang menampilkan tampilan dari kamera webcam dan inputan passwordnya. Kemudian pada bagian dalam box terdapat beberapa komponen meliputi *raspberry pi* sebagai pusat kontrol utama, *doorlock* serta relay yang saling terhubung yang digunakan sebagai aktuator untuk membuka box setelah mendapat perintah dari *raspberry pi*, dan konverter hdmi ke rca yang digunakan untuk menampilkan layar *raspberry pi* ke TFT LCD nya.





Gambar 6. Tampilan box

Sistem menggunakan sumber 12 V untuk memberi tegangan ke doorlock, dan TFT LCD agar dapat digunakan. Kemudian untuk sumber dari *Raspberrry pi* menggunakan adaptor C to C yang langsung terhubung ke stop kontak, Dan untuk komponen lainnya seperti *webcam*, *keypad*, dan konverter langsung terhubung ke *raspberrry pi* untuk powernya.

PEMBAHASAN

A. PENGUJIAN ALAT

Pengujian alat dilakukan untuk mengevaluasi performa pengambilan gambar *QR code* dalam kondisi pencahayaan dan jarak yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pencahayaan dan jarak terhadap performa pendeteksian *QR code*. Data ini dikumpulkan 4 kondisi pencahayaan dan beberapa variasi jarak. Hasil pengujian tersebut disajikan pada tabel-tabel dibawah ini sebagai dasar analisis performa sistem brankas dengan *QR code* ini.

Tabel 1. Pendeteksian pada 482 Lx

No	Percobaan	Jarak(cm)	Keterangan
1	1	10	QR terdeteksi
2	2	20	QR terdeteksi
3	3	30	QR terdeteksi
4	4	40	QR terdeteksi
5	5	50	QR terdeteksi
6	6	60	QR terdeteksi
7	7	70	QR tidak terdeteksi



8	8	80	QR tidak terdeteksi
9	9	90	QR tidak terdeteksi

Tabel 2. Pendeteksian pada 237 Lx

No	Percobaan	Jarak(cm)	Keterangan
1	1	10	QR terdeteksi
2	2	20	QR terdeteksi
3	3	30	QR terdeteksi
4	4	40	QR terdeteksi
5	5	50	QR terdeteksi
6	6	60	QR tidak terdeteksi
7	7	70	QR tidak terdeteksi
8	8	80	QR tidak terdeteksi
9	9	90	QR tidak terdeteksi

Tabel 3. Pendeteksian pada 81 Lx

No	Percobaan	Jarak(cm)	Keterangan
1	1	10	QR terdeteksi
2	2	20	QR terdeteksi
3	3	30	QR terdeteksi
4	4	40	QR terdeteksi
5	5	50	QR terdeteksi
6	6	60	QR tidak terdeteksi
7	7	70	QR tidak terdeteksi
8	8	80	QR tidak terdeteksi
9	9	90	QR tidak terdeteksi

Tabel 4. Pendeteksian pada 17 Lx

No	Percobaan	Jarak(cm)	Keterangan
1	1	10	QR terdeteksi
2	2	20	QR terdeteksi



3	3	30	QR terdeteksi
4	4	40	QR terdeteksi
5	5	50	QR tidak terdeteksi
6	6	60	QR tidak terdeteksi
7	7	70	QR tidak terdeteksi
8	8	80	QR tidak terdeteksi
9	9	90	QR tidak terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian yang saya lakukan, Tabel 1 menunjukkan performa sistem pada kondisi pencahayaan tertinggi yaitu 482 lux. Dalam kondisi ini, QR code dapat terdeteksi secara akurat hingga jarak 60 cm. Namun, pada jarak 70 cm dan seterusnya, deteksi tidak berhasil. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pencahayaan sangat terang, jangkauan maksimal kamera dalam membaca QR code tetap terbatas pada jarak dekat. Pola serupa juga terlihat pada Tabel 2, dengan pencahayaan sebesar 237 lux. Sama seperti sebelumnya, QR code masih bisa terbaca dengan baik sampai jarak 50 cm, tetapi gagal dideteksi pada jarak yang lebih jauh. Artinya, penurunan pencahayaan dari 482 ke 237 lux tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan maupun penurunan kemampuan deteksi sistem.

Kemudian, pada Tabel 3 dengan pencahayaan sebesar 81 lux, hasilnya tetap konsisten. QR code berhasil terdeteksi hingga 50 cm, namun gagal dibaca mulai dari jarak 60 cm ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tingkat pencahayaan semakin rendah, kamera masih mempertahankan performa yang sama pada jarak efektifnya. Bahkan pada Tabel 4, yang mewakili kondisi pencahayaan paling rendah yaitu 17 lux, hasil deteksinya ada sedikit penurunan kode hanya terbaca hingga 40 cm. Dari seluruh data ini, saya menyimpulkan bahwa batas deteksi QR code oleh kamera dalam sistem ini tidak terlalu dipengaruhi oleh pencahayaan melainkan dipengaruhi oleh jarak antara kamera dan QR code nya.

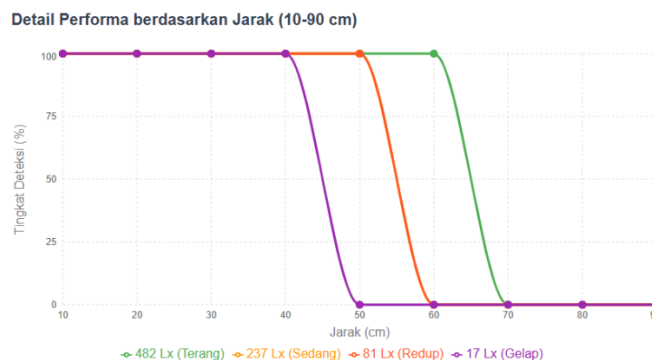
Tabel 5. Pengujian validitas QR code

QR ke	Window Token Berlaku	Waktu Scan	Status
-------	----------------------	------------	--------



1	10:01:00 - 10:01:59	10:01:15	Valid
1	10:01:00 - 10:01:59	10:02:08	Tidak Valid
2	10:02:00 - 10:02:59	10:02:27	Valid
2	10:02:00 - 10:02:59	10:03:10	Tidak Valid
3	10:03:00 - 10:03:59	10:03:30	Valid
3	10:03:00 - 10:03:59	10:04:16	Tidak Valid
4	10:04:00 - 10:04:59	10:04:05	Valid
4	10:04:00 - 10:04:59	10:05:57	Tidak Valid
5	10:05:00 - 10:05:59	10:05:35	Valid
5	10:05:00 - 10:05:59	10:06:07	Tidak Valid
6	10:06:00 - 10:06:59	10:06:44	Valid
6	10:06:00 - 10:06:59	10:07:15	Tidak Valid
7	10:07:00 - 10:07:59	10:07:58	Valid
7	10:07:00 - 10:07:59	10:08:01	Tidak Valid
8	10:08:00 - 10:08:59	10:08:10	Valid
8	10:08:00 - 10:08:59	10:08:48	Valid
9	10:09:00 - 10:09:59	10:09:30	Valid
9	10:09:00 - 10:09:59	10:09:14	Valid

Pada Tabel 5 menunjukkan hasil uji validitas pemindaian *QR Code* berdasarkan window waktu token yang berlaku setiap satu menit. Setiap *QR Code* dicetak dalam rentang waktu tertentu (misalnya 10:01:00 hingga 10:01:59) dan diuji apakah waktu pemindaian (waktu aktual pengguna melakukan scan) masih berada dalam window tersebut. Jika pemindaian dilakukan di dalam rentang waktu tersebut, maka status dinyatakan Valid; sebaliknya jika dilakukan di luar rentang, maka status menjadi Tidak Valid. Dari total 9 *QR Code* yang diuji dengan beberapa kali percobaan pemindaian, dapat diamati bahwa sistem validasi waktu bekerja dengan baik. *QR Code* hanya dikenali sebagai valid saat pemindaian dilakukan tepat pada *window* waktu aktif yang telah ditentukan.



Gambar 7. Performa berdasarkan Jarak



Pada Gambar 7 menunjukkan performa sistem dalam mendeteksi QR Code berdasarkan variasi jarak (10–90 cm) pada empat tingkat pencahayaan berbeda: 482 lux (terang), 237 lux (sedang), 81 lux (redup), dan 17 lux (gelap). Grafik ini mengungkapkan bahwa tingkat pencahayaan yang lebih tinggi memungkinkan sistem mendeteksi QR Code pada jarak yang lebih jauh. Pada 482 lux, sistem mampu mempertahankan deteksi hingga jarak sekitar 60 cm, sedangkan pada pencahayaan 237 lux hanya sampai 50 cm, dan pada 81 lux hanya efektif hingga 50 cm. Pencahayaan paling gelap (17 lux) menunjukkan penurunan signifikan, dengan sistem hanya mampu membaca QR Code secara efektif hingga sekitar 40 cm. Hal ini menunjukkan bahwa baik pencahayaan maupun jarak memiliki pengaruh langsung terhadap akurasi deteksi, dan performa sistem menurun drastis pada kondisi cahaya rendah dan jarak yang jauh.

Tabel 6. Percobaan *doorlock*

No	Autentikasi QR code	Percobaan password	status	Doorlock
1	Sesuai	1	benar	Terbuka
2	Sesuai	1	salah	Tidak
3	Sesuai	2	benar	Terbuka
		1	salah	Tidak
		2	salah	Tidak
		3	salah	Tidak
		4	salah	Tidak
4	Tidak sesuai	5	salah	Tidak
		-	-	Tidak

Pada Tabel 6 menunjukkan hasil percobaan pengujian doorlock. Percobaan 1 dilakukan setelah QR code cocok kemudian memasukkan password 1 kali dan status password benar kemudian doorlock terbuka. Percobaan ke 2 dilakukan setelah QR code cocok dan pada percobaan password 1 salah, kemudian dilanjutkan percobaan password ke 2 dan benar lanjut doorlock akan terbuka. Percobaan ke 3 dilakukan setelah QR code cocok kemudian memasukkan password sampai 5 kali dan salah semua, doorlock tidak akan terbuka dan akan Kembali ke pengambilan QR code. Percobaan terakhir QR code tidak cocok dan tidak bisa lanjut ke pemasukan password.



B. TAMPILAN LAYAR MONITOR

Pada bagian layar monitor TFT LCD ini menampilkan tampilan dari kamera dan tampilan pada saat memasukkan password. Dalam bagian ini monitor menerima sinyal yang dikonvert dari konverter hdmi ke rca sebagai inputan monitor yang diterima dari raspberry pi.

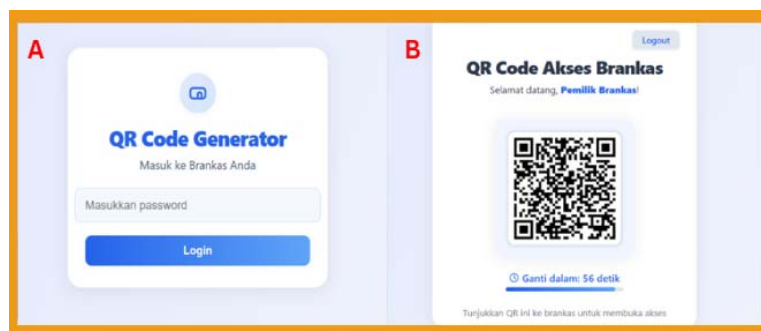


Gambar 8. (A) masukkan password, dan (B) tampilan awal.

Pada gambar 8 merupakan tampilan layar yang menunjukkan proses autentikasi berbasis *QR code*. Gambar (B) memperlihatkan tampilan awal dari kamera yang sedang menunggu *QR code* untuk di deteksi, area masih kosong karena belum ada *QR code* terdeteksi. Gambar (A) menunjukkan bahwa sistem berhasil mengenali *QR code* pengguna dan langsung menampilkan jendela *pop-up* untuk memasukkan *password* sebagai tahap autentikasi lanjutan. Ini menunjukkan bahwa sistem menggabungkan verifikasi *QR code* dengan autentikasi tambahan berupa kata sandi untuk meningkatkan keamanan.

C. TAMPILAN WEBSITE

Pada bagian ini menampilkan tampilan dari website pada halaman login dan halaman pembuatan *QR code*. Dalam halaman ini website di deploy secara gratis lewat vercel dengan url websitenya adalah <https://qrweb-nine.vercel.app/>.



Gambar 9. (A) tampilan login, dan (B) tampilan pembuatan *QR code*



Pada Gambar 9 menampilkan antarmuka website yang digunakan untuk mengakses brankas melalui *QR code*. Pada halaman utama, pengguna diminta untuk melakukan *login* terlebih dahulu dengan memasukkan *password* pada form yang tersedia. Setelah berhasil *login*, pengguna akan diarahkan ke halaman utama *QR Code* Akses Brankas. Di halaman ini, terdapat tampilan *QR code* yang dapat digunakan untuk membuka brankas, serta informasi waktu mundur yang menunjukkan berapa detik lagi *QR code* akan diganti secara otomatis untuk menjaga keamanan akses. Terdapat juga tombol "*Logout*" di bagian atas untuk keluar dari sistem. Di bagian bawah, terdapat instruksi singkat agar pengguna menunjukkan *QR code* tersebut ke brankas untuk membuka akses. Desain halaman dibuat sederhana dan intuitif, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami alur penggunaan dan mendapatkan *QR code* akses dengan cepat serta aman.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem autentikasi pembuka brankas berbasis *QR code* dinamis yang diintegrasikan dengan *Raspberry Pi* sebagai pusat kendali. Sistem mampu mendeteksi dan memverifikasi *QR code* secara real-time serta menambahkan lapisan keamanan melalui verifikasi *password* dan pembatasan jumlah percobaan akses. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara konsisten sesuai dengan tujuan penelitian, dengan tingkat keberhasilan tinggi dalam membaca *QR code* dan menjaga validitasnya berdasarkan waktu.

Implementasi autentikasi berlapis dalam sistem ini memberikan alternatif solusi keamanan digital yang adaptif dan efektif untuk perlindungan aset berharga. Ke depan, pengembangan dapat difokuskan pada peningkatan akurasi pendeteksian dalam kondisi ekstrem dan integrasi fitur keamanan tambahan seperti notifikasi dan log aktivitas guna meningkatkan keandalan sistem secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan kemudahan-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Saya juga menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan, dukungan, dan kerjasama dari berbagai pihak. Sebagai bentuk apresiasi dan ungkapan terima kasih, peneliti menyampaikan penghargaan yang tulus kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir serta laporan ini, khususnya kepada:

1. Keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan sehingga proses penyelesaian Tugas Akhir dapat berjalan dengan lancar.



2. Bapak Dosen Mohammad Nasrul Mubin, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro UMS yang telah membagikan ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Teman-teman Teknik Elektro yang telah menemani sejak awal perkuliahan hingga saat ini, memberikan dukungan dan semangat yang berarti.
5. Teman-teman kos ipn dan kos arif yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir dan penyusunan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Kharisma, B. Narasiang, and M. E. I. Najooan, "Rancang bangun sistem keamanan locker berbasis Raspberry Pi," Unpublished, 2021.
- [2] A. I. Irawan, I. H. Santoso, and M. R. Istikmal, "Implementation of QR Code Attendance Security System Using RSA and Hash Algorithms," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 13, no. 1, pp. 53–59, 2024.
- [3] A. Denih, M. Iqbal, and J. Ferdiano, "Rancang bangun multiple QR code scanner berbasis Raspberry Pi," *Incomtech: J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 14, no. 3, 2024, doi: 10.22441/incomtech.v14i3.24275.
- [4] A. Bhat and N. Phadte, "Smart QR code scanner using Raspberry Pi," *Int. Res. J. Eng. Technol. (IRJET)*, vol. 8, no. 3, pp. 1002–1005, 2021. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V8/i3/IRJET-V8I3169.pdf>
- [5] A. Basit, A. S. B. Putra, G. A. Revira, and R. N. Widia, "Smart door lock berbasis QR code," *Smart Comp: J. Orang Pint. Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 5–8, 2022.

