

Enkripsi *QR Code* Menggunakan Metode Dekomposisi LU Untuk Keamanan Informasi

Diyah Susan Nugrahani 13523080^{1,2}

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

13523080@mahasiswa.itb.ac.id, diyahnugrahani04@gmail.com

Abstrak—Informasi dapat disimpan dalam berbagai bentuk, salah satunya adalah dalam bentuk *QR code*. Perkembangan zaman membuat informasi mudah tersebar dan sering disalahgunakan. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memberikan keamanan tambahan pada *QR code* dengan menerapkan kriptografi. Kriptografi dilakukan dengan metode enkripsi dan dekripsi pada suatu data. Untuk menerapkan kriptografi diperlukan sebuah kunci khusus. Kunci tersebut dapat dibuat dengan menggunakan metode dekomposisi matriks LU. Dengan konsep ini, data hanya dapat diakses oleh pihak bersangkutan sehingga informasi terjamin keamanannya.

Kata kunci—Dekomposisi LU, Dekripsi, Enkripsi, Kriptografi, , *QR code*.

Abstract—Information can be stored in various forms, one of which is in the form of a *QR code*. The development of the times makes information easily spread and often misused. This problem can be overcome by providing additional security to the *QR code* by applying cryptography. Cryptography is carried out by encrypting and decrypting data methods. To implement cryptography, a special key is required. The key can be created using the LU matrix decomposition method. With this concept, data can only be accessed by the parties concerned so that information is guaranteed to be secure.

Keywords—Cryptography, Decryption, Encryption, LU Decomposition, *QR code*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang terus berkembang membuat peradaban menjadi semakin maju. Pada zaman sekarang semua hal semakin menjadi mudah dan praktis. Hampir seluruh aspek kehidupan kini berkaitan dengan teknologi digital. Segala informasi kini dapat diakses dengan mudah melalui *platform* digital. Salah satu teknologi digital yang mempermudah banyak sektor kehidupan adalah dengan adanya penggunaan *QR code* untuk berbagai sektor. Pemanfaatan *QR code* sangat mudah dijumpai di kehidupan sehari-hari, seperti digunakan dalam pembayaran non-tunai, tanda-tangan digital, informasi tiket kereta api, tiket pesawat, tiket konser, dan masih banyak lagi. Seluruh informasi tersebut bersifat penting dan sangat sensitif karena mengandung informasi khusus

Di era digital saat ini, informasi dapat dengan mudah

disebarluaskan melalui internet. Tidak jarang juga banyak informasi pribadi yang tersebar atau disebarluaskan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Kerahasiaan sebuah informasi harus dapat dijaga dengan baik. Informasi yang bersifat penting sebaiknya hanya dapat diakses oleh pihak yang bersangkutan saja.

Salah satu konsep yang dapat diterapkan untuk memberikan keamanan tambahan pada suatu informasi adalah dengan menggunakan konsep kriptografi. Kriptografi merupakan ilmu dan seni untuk menjaga keamanan pesan (Schneier, 1996). Keamanan dalam konteks ini memiliki arti bahwa informasi dapat terjaga kerahasiaannya (*confidentiality*), terjaga keasliannya (*data integrity*), dikirim oleh pihak yang asli (*authentication*), dan tidak dapat disangkal (*non repudiation*). Konsepnya adalah dengan menyembunyikan informasi melalui proses enkripsi menggunakan sebuah kunci lalu pihak yang ingin mengetahui informasi tersebut harus melakukan dekripsi menggunakan kunci yang sama. Hal tersebut membuat informasi menjadi lebih rahasia dan hanya dapat diakses oleh pihak yang bersangkutan dan memiliki kunci.

Informasi yang terkandung dalam sebuah *QR code* perlu diberikan perlindungan tambahan agar terjamin keamanannya. Oleh karena itu, pada makalah ini akan dijelaskan terkait enkripsi *QR code* menggunakan metode dekomposisi LU. Pada konteks ini, dekomposisi LU akan digunakan sebagai kunci untuk melakukan enkripsi dan dekripsi. Dengan menggunakan metode ini maka informasi yang terkandung di *QR* dapat dijaga kerahasiaannya.

II. LANDASAN TEORI

2.1 *QR code*

QR code (*Quick Response Code*) adalah sebuah kode matriks dua dimensi yang dirancang untuk dapat menyimpan informasi tertentu dan dapat diakses dengan cepat. *QR code* pertama kali diciptakan pada tahun 1994 oleh anak Perusahaan Toyota di Jepang bernama Denso Wave. Awalnya, *QR code* dirancang untuk melacak suku cadang kendaraan dengan lebih efisien dibanding *barcode* biasa. Seiring waktu, *QR code* mulai berkembang dan dimanfaatkan untuk berbagai bidang. Beberapa bidang yang memanfaatkan *QR code* adalah bidang pemasaran

untuk tautan ke website, pembayaran digital, tiket elektronik, edukasi, dan masih banyak lagi.

QR code memiliki pola seperti kotak-kotak hitam putih dan dapat dipindai menggunakan alat pindai atau gawai. Proses pemindaian QR code dimulai dengan pengambilan gambar kemudian dilanjutkan dengan deteksi pola. Setelah itu pola biner tersebut didekripsi dan menghasilkan informasi yang tersimpan di dalamnya. Setiap pola menyimpan informasi yang unik. Struktur dari QR code terdiri dari enam bagian, antara lain :

- position detection patterns*
bagian ini berupa tiga kotak besar di sudut QR code yang digunakan untuk membantu menentukan orientasi kode
- alignment pattern*
bagian yang berfungsi untuk menjaga akurasi pemindaian terutama pada kode yang besar
- timing pattern*
bagian yang selalu diawali dan diakhiri dengan warna gelap dan mengindikasikan ukuran data matriks
- version information*
bagian yang menunjukkan versi dari QR code
- format information*
bagian yang berisi informasi terkait *level of error correction* yang mempengaruhi seberapa akurat pembacaan kode
- data area*
bagian yang mengandung informasi yang telah didekripsi



Gambar 1 Struktur QR code

(sumber : <https://qr.net/info/structure-of-a-qr-code/>)

2.2 Kriptografi

Kriptografi adalah bidang ilmu yang mempelajari tentang bagaimana cara untuk menjaga keamanan pesan dalam proses pengiriman pesan dengan cara melakukan penyandian tertentu. Penyandian ini bertujuan agar informasi yang tersimpan dalam pesan tersebut tidak disalahgunakan oleh pihak yang tidak bersangkutan.

Dalam kriptografi terdapat beberapa konsep penting yang digunakan, yaitu enkripsi dan dekripsi. Enkripsi adalah sebuah proses penyandian yang merubah suatu informasi atau data menjadi bentuk yang hampir tidak dapat dikenali bentuknya dengan menggunakan algoritma

tertentu. Untuk dapat mengakses informasi tersebut perlu dilakukan dekripsi. Dekripsi sendiri merupakan sebuah proses mengembalikan bentuk yang tidak dikenali tadi menjadi bentuk semula sehingga informasi semula yang ada di dalamnya dapat diakses.

Informasi asli → Enkripsi → Informasi rahasia

Informasi rahasia → Dekripsi → Informasi asli

Untuk melakukan enkripsi dan dekripsi, diperlukan sebuah kunci yang sifatnya unik. Kunci tersebut menyebabkan akses informasi hanya dapat dilakukan oleh dua pihak yang bersangkutan. Kunci dapat dibuat dengan berbagai macam cara tergantung dengan kebutuhan dan keinginan si pembuat kunci.

2.3 Dekomposisi LU

Dekomposisi LU merupakan salah satu metode dalam aljabar linear yang digunakan untuk mendekomposisi matriks A menjadi dua matriks segitiga. Syarat untuk dapat melakukan dekomposisi LU adalah matriks A merupakan matriks persegi non-singular.

$$A = L \cdot U$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ l_{21} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ l_{31} & l_{32} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \dots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & u_{23} & \dots & u_{2n} \\ 0 & 0 & u_{33} & \dots & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

Gambar 2 Dekomposisi LU (sumber : bahan ajar Aljabar Linear dan Geometri oleh Rinaldi Munir)

L : Matriks segitiga bawah dengan elemen-elemen dibawah diagonal utama non-nol dan elemen diagonal utama adalah 1

U : Matriks segitiga atas dengan elemen-elemen di atas diagonal utama non-nol

a. Metode LU-Gauss

$$A = L \cdot U$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ m_{21} & 1 & 0 & 0 \\ m_{31} & m_{32} & 1 & 0 \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} \\ 0 & u_{22} & u_{23} & u_{24} \\ 0 & 0 & u_{33} & u_{34} \\ 0 & 0 & 0 & u_{44} \end{bmatrix}$$

Gambar 3 Dekomposisi LU Metode Gauss (sumber : bahan ajar Aljabar Linear dan Geometri oleh Rinaldi Munir)

Langkah-langkah untuk dekomposisi LU adalah sebagai berikut :

1. Nyatakan A sebagai $A = I \cdot A$
2. Lakukan eliminasi Gauss pada matriks A menjadi matriks U. Tempatkan faktor pengali *mij* pada

posisi lij di dalam matriks I.

- Setelah eliminasi Gauss selesai, matriks I menjadi matriks L, dan matriks A di ruas kanan menjadi matriks U.

b. Metode reduksi Crout

Langkah-langkah untuk dekomposisi LU adalah sebagai berikut :

- Menghitung elemen-elemen untuk matriks U

$$u_{ij} = a_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik}u_{kj}$$

Gambar 4 Rumus Matriks U

- Menghitung elemen-elemen untuk matriks L

$$l_{ij} = \frac{1}{u_{jj}} \left(a_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik}u_{kj} \right)$$

Gambar 5 Rumus Matriks L

Penerapan dekomposisi LU dapat digunakan untuk menyelesaikan beberapa persoalan. Berikut merupakan beberapa penggunaan dekomposisi LU :

- Menyelesaikan sistem persamaan linear

$$\begin{aligned} A \cdot x &= b \\ L \cdot y &= b \\ U \cdot x &= y \end{aligned}$$

- Perhitungan determinan

$$\det(A) = u_{11} \cdot u_{22} \cdot \dots \cdot u_{nn}$$

Dalam penerapannya, metode LU sering kali tidak menyimpan dua buah matriks L dan U secara terpisah. Elemen L dan U disimpan dalam matriks asli A untuk menghemat ruang memori. Elemen di bawah diagonal utama A digunakan untuk menyimpan elemen L. Elemen di atas diagonal utama A digunakan untuk menyimpan elemen U. Oleh karena itu, metode LU hanya memerlukan ruang untuk satu matriks sehingga membuatnya lebih kompak dibandingkan metode lain.

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 3 & -1 \\ -2 & -4 & 5 \\ 1 & 2 & 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0.25 & -0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 3 & -1 \\ 0 & -2.5 & 4.5 \\ 0 & 0 & 8.5 \end{bmatrix}$$

L U

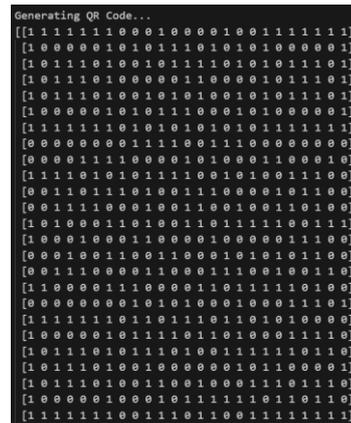
$$\begin{bmatrix} 4 & 3 & -1 \\ -2 & -4 & 5 \\ 1 & 2 & 6 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 4 & 3 & -1 \\ -0.5 & -2.5 & 4.5 \\ 0.25 & -0.5 & 8 \end{bmatrix}$$

L dan U disatukan

Gambar 6 Dekomposisi LU Kompak (sumber : bahan ajar Aljabar Linear dan Geometri oleh Rinaldi Munir)

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setiap gambar memiliki data yang dapat diolah untuk mendapatkan suatu informasi. *QR code* yang merupakan sebuah gambar dapat diproses dan diekstraksi fitur-fiturnya sehingga menghasilkan informasi tertentu. Gambar dapat diubah menjadi sebuah matriks yang mengandung informasi yang merepresentasikan intensitas tingkat keabuannya dalam rentang 0 (hitam) hingga 255 (putih). Dalam konteks *QR code*, gambar tersebut merupakan representasi dari bilangan biner sehingga hanya memiliki dua buah nilai yaitu 0 (hitam) dan 1 (putih) (gambar 7). Kemudian matriks yang terbentuk akan diubah menjadi sebuah gambar *QR code* yang dapat dipindai (gambar 8).

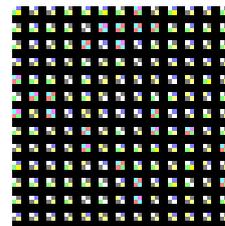


Gambar 7 Matriks QR



Gambar 8 QR code Asli

Setelah terbentuk sebuah QR yang berisikan sebuah informasi tertentu, selanjutnya akan dilakukan proses enkripsi. Proses enkripsi akan merubah QR tersebut menjadi bentuk yang tidak dapat dikenali. Gambar hasil enkripsi ini (gambar 9) hanya dapat diekstraksi informasinya menggunakan kunci yang telah dibuat menggunakan metode dekomposisi LU.



Gambar 9 Gambar Enkripsi QR code

Sebelum dilakukan enkripsi, matriks akan dimodifikasi sehingga dipastikan dimensinya berukuran genap dengan dilakukan padding. Setelah itu matriks akan dibagi menjadi blok-blok 2x2. Setiap blok akan didekomposisi dengan metode LU dan ditambahkan noise kecil untuk mencegah error matematis pada dekomposisi. Hasil dekomposisi akan berisi P (matriks pivot), L (matriks segitiga bawah), dan U (matriks segitiga atas). Kemudian data enkripsi ini akan disimpan menjadi sebuah gambar dengan matriks P direpresentasikan sebagai kanal merah, matriks L direpresentasikan sebagai kanal hijau, dan matriks U direpresentasikan sebagai kanal biru.

Untuk mengakses informasi dari gambar yang telah dienkripsi perlu dilakukan proses dekripsi dengan menggunakan kunci tertentu. Gambar yang telah dienkripsi memiliki data tertentu yang dapat diekstraksi dengan menggunakan algoritma yang sudah disesuaikan dengan kunci yang dibuat. Data tersebut kemudian direkonstruksi ulang dan dikonversi ke format biner untuk menghasilkan *QR code* asli.



Gambar 10 *QR code* Hasil Dekripsi

Konsep enkripsi *QR code* ini memberikan perlindungan keamanan tambahan dan memastikan hanya pihak berkaitan yang dapat mengakses informasi didalamnya. Penerapan konsep ini dapat digunakan untuk kasus-kasus yang sensitif dan memuat data pribadi seperti informasi kependudukan, informasi tiket elektronik, pembayaran non-tunai, pesan rahasia, dan masih banyak lagi.

IV. IMPLEMENTASI PROGRAM

4.1 Program Utama Enkripsi dan Dekripsi

Algoritma enkripsi dan dekripsi diimplementasikan dengan menggunakan bahasa python. Untuk membuat *QR code*, digunakan *library* *qrcode* yang tersedia di python. Dalam python juga sudah tersedia *library* untuk melakukan dekomposisi LU, dalam implementasi ini penulis menggunakan *library* *scipy.linalg* untuk melakukan dekomposisi LU. Untuk melakukan pemrosesan ekstraksi fitur gambar digunakan *library* *numpy*, *cv2*, dan *PIL*.

```
import numpy as np
from scipy.linalg import lu
import qrcode
import cv2
from PIL import Image
```

Gambar 11 *Library* yang Digunakan

Tahap pertama dilakukan dengan pembuatan *QR code* sesuai dengan *input* yang dimasukkan. Akan terbentuk sebuah matriks dua dimensi yang berisi bilangan biner yang 0 (hitam) dan 1 (putih). Matriks tersebut kemudian

akan diubah menjadi gambar *QR code* yang dapat dipindai.

```
def generate_qr_code(data):
    # generate qr based on input
    qr = qrcode.QRCode(error_correction=qrcode.constants.ERROR_CORRECT_H)
    qr.add_data(data)
    qr.make(fit=True)
    qr_matrix = np.array(qr.modules).astype(np.uint8)
    return qr_matrix
```

Gambar 12 Program *Generate QR*

```
def save_qr_image(matrix, filename="qr_code.png"):
    qr_image = (matrix * 255).astype(np.uint8)
    qr_image = cv2.resize(qr_image, (300, 300), interpolation=cv2.INTER_NEAREST)
    Image.fromarray(qr_image).save(filename)
```

Gambar 13 Program *Save Image*

Setelah itu, matriks dari QR asli akan dienkripsi. Sebelum dienkripsi matriks akan disesuaikan dengan *padding* sehingga dimensinya pasti genap. Kemudian matriks akan dibagi menjadi blok-blok yang kemudian akan didekomposisi tiap blok nya dengan metode LU. Hasil enkripsi tersebut kemudian disimpan menjadi gambar yang merepresentasikan data terkait hasil dekomposisi yang berisi P (matriks pivot), L (matriks segitiga bawah), dan U (matriks segitiga atas).

```
def lu_encrypt(qr_matrix):
    padded_matrix = pad_matrix(qr_matrix)

    blocks = split_into_blocks(padded_matrix)

    encrypted_blocks = []
    for i, (block, position) in enumerate(blocks):
        try:
            encrypted_block = lu_encrypt_block(block)
            encrypted_blocks.append((encrypted_block, position))
        except Exception as e:
            print(f"Error processing block {i} at position {position}: {e}")
            raise

    return {
        "blocks": encrypted_blocks,
        "original_shape": qr_matrix.shape,
        "padded_shape": padded_matrix.shape
    }

def pad_matrix(matrix):
    #memastikan dimensi genap
    rows, cols = matrix.shape
    pad_rows = (2 - (rows % 2)) % 2
    pad_cols = (2 - (cols % 2)) % 2

    if pad_rows > 0 or pad_cols > 0:
        padded = np.pad(matrix, ((0, pad_rows), (0, pad_cols)), mode='constant', constant_values=0)
    else:
        padded = matrix.copy()

    assert padded.shape[0] % 2 == 0 and padded.shape[1] % 2 == 0
    return padded

def split_into_blocks(matrix):
    rows, cols = matrix.shape

    if rows % 2 != 0 or cols % 2 != 0:
        raise ValueError(f"Matrix dimensions must be even. Current shape: {matrix.shape}")

    blocks = []
    for i in range(0, rows, 2):
        for j in range(0, cols, 2):
            block = matrix[i:i+2, j:j+2]
            block = block.astype(np.float64) + np.eye(2) * 1e-10
            blocks.append((block, (i, j)))

    return blocks
```

Gambar 14 Program Enkripsi

Untuk mendapatkan informasi yang tersimpan dalam gambar terenkripsi, diperlukan proses dekripsi. Proses ini akan merekonstruksi kembali data-data yang tersimpan dalam gambar terenkripsi menjadi *QR code*. Untuk melihat versi lengkap algoritma yang digunakan akan dilampirkan *link repository* pada lampiran.

```

def lu_decrypt(encryption_data):
    blocks = encryption_data["blocks"]
    padded_shape = encryption_data["padded_shape"]
    original_shape = encryption_data["original_shape"]

    reconstructed = np.zeros(padded_shape, dtype=np.uint8)

    for encrypted_block, (i, j) in blocks:
        decrypted_block = lu_decrypt_block(encrypted_block)
        reconstructed[i:i+2, j:j+2] = decrypted_block

    return reconstructed[:original_shape[0], :original_shape[1]]

def lu_decrypt_block(encrypted_block):
    P = encrypted_block["P"]
    L = encrypted_block["L"]
    U = encrypted_block["U"]

    reconstructed = np.dot(L.astype(np.float64), U.astype(np.float64))
    reconstructed = np.dot(P.T.astype(np.float64), reconstructed)
    reconstructed = reconstructed - np.eye(2) * 1e-10

    threshold = 0.5
    return (reconstructed > threshold).astype(np.uint8)

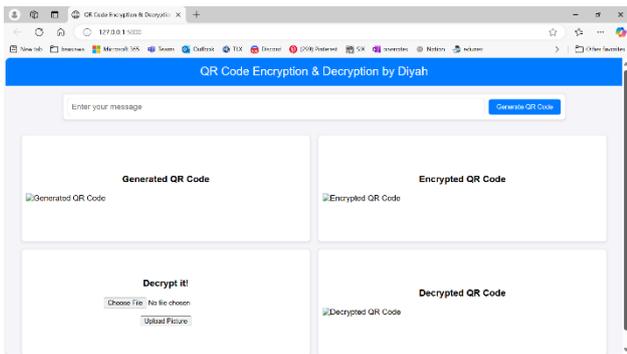
```

Gambar 15 Program Dekripsi

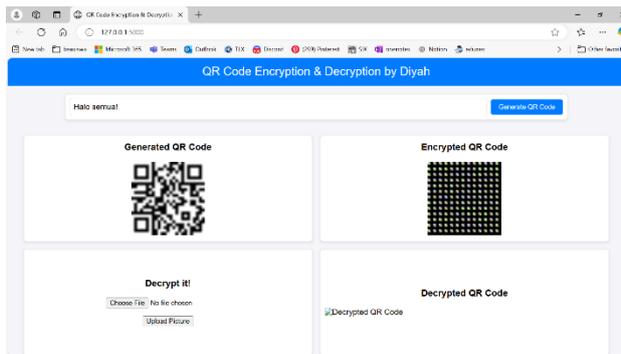
4.2 Arsitektur Website

Penulis membuat sebuah website yang dapat digunakan untuk dapat melakukan enkripsi dan dekripsi *QR code* yang lebih interaktif. *Website* tersebut dibuat dengan menggunakan javascript dan html. Untuk menghubungkan antara *website* dengan algoritma yang telah dibuat penulis menggunakan *framework* flask sebagai *backend*. *Server* yang digunakan untuk mengakses *website* sama dengan *server backend* yaitu pada laman <http://127.0.0.1:5000>.

Tampilan *website* pada keadaan awal. Terdapat *bar* untuk *input* pesan atau informasi yang ingin dienkripsi. Ketika pengguna menekan tombol *Generate QR code*, maka program akan menghasilkan gambar *QR code* asli dan *QR code* yang telah dienkripsi.

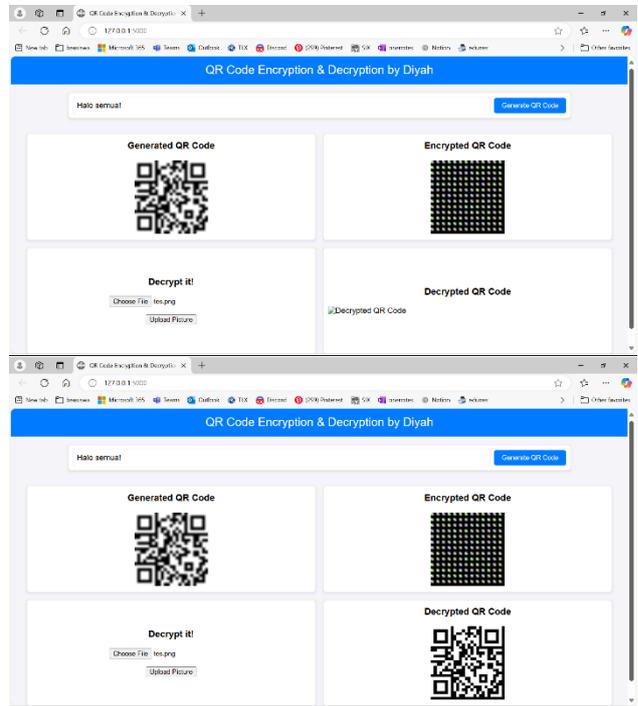


Gambar 16 Tampilan Awal Website



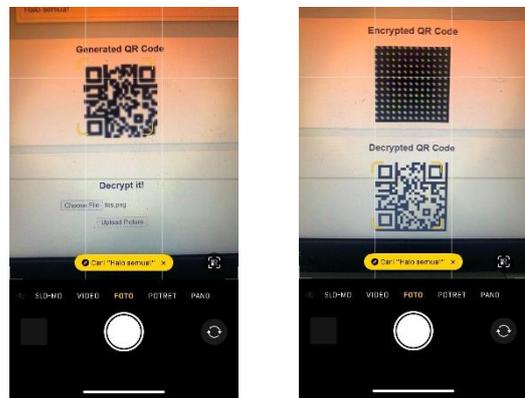
Gambar 17 Tampilan Website Setelah Generate QR

Untuk melakukan dekripsi, pengguna dapat mendownload gambar terenkripsi kemudian meng-*upload* gambar tersebut di bagian *Decrypt it!*. Setelah memilih file yang sesuai, pengguna dapat menekan tombol *Upload Picture*. Ketika pengguna menekan tombol tersebut, file akan tersimpan pada sebuah *folder upload*. Tombol tersebut sekaligus berperan sebagai tombol untuk melakukan dekripsi. Setelah berhasil melakukan *upload* maka secara otomatis gambar terenkripsi tersebut akan didekripsi menjadi *QR code* semula.



Gambar 18 Tampilan Website Setelah Upload Picture

Hasil pindai gambar *QR code* asli sama dengan hasil pindai gambar dekripsi. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses enkripsi dan dekripsi berjalan dengan baik.



Gambar 19 Hasil Pindai QR

Website yang dibuat masih bersifat lokal. Untuk mencoba menggunakan *website* tersebut dapat dilakukan dengan melakukan *clone repository* dan menjalankan instruksi sesuai dengan *README* yang telah tersedia.

V. KESIMPULAN

Persebaran informasi yang begitu cepat di era digital ini mengharuskan masyarakat untuk lebih hati-hati dalam menyebarkan informasi supaya tidak disalahgunakan oleh pihak lain. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi resiko penyalahgunaan informasi adalah dengan memberikan perlindungan keamanan tambahan untuk menjaga kerahasiaan informasi tersebut. Kriptografi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memberikan perlindungan tambahan dengan cara enkripsi dan dekripsi data. Dalam melakukan enkripsi dan dekripsi diperlukan sebuah kunci unik yang menjadi syarat seseorang dapat mengakses informasi tersebut. Salah satu cara untuk menciptakan kunci tersebut adalah dengan melakukan dekomposisi matriks menggunakan metode LU. Komponen-komponen hasil dekomposisi akan berfungsi sebagai kunci yang nantinya digunakan untuk melakukan enkripsi dan dekripsi data. Dengan menerapkan konsep ini, informasi yang terkandung dalam *QR code* bisa menjadi lebih aman dan rahasia. Hal tersebut dapat diterapkan dalam berbagai bidang di kehidupan sehari-hari misalnya untuk tiket elektronik. Ketika pengguna melakukan pembelian tiket, maka pengguna akan diberikan tiket elektronik yang didalamnya terdapat gambar terenkripsi. Tiket tersebut hanya dapat diakses oleh pihak yang bersangkutan dan memiliki kunci. Hal ini dapat mengurangi resiko tiket palsu atau tiket yang disalahgunakan oleh orang lain. Dengan melakukan upaya tersebut diharapkan keamanan informasi digital dapat lebih terjamin sehingga masyarakat tidak perlu khawatir dalam memanfaatkan teknologi digital dalam kehidupan sehari-hari.

VI. SARAN

Dalam pembuatan makalah ini, penulis menemukan beberapa hal yang dapat dijadikan pembelajaran untuk penulisan dikemudian hari dan untuk pembaca. Penulis merekomendasikan implementasi menggunakan bahasa python karena bahasanya cukup mudah dipahami dan terdapat banyak *library* bawaan yang dapat digunakan untuk mempermudah pembuatan program. Fitur *upload picture* masih dapat dikembangkan menjadi fitur *scanning* yang lebih relevan dalam kehidupan sehari-hari. Arsitektur *website* yang dibuat penulis sangat sederhana dan masih dapat dikembangkan lagi supaya lebih rapi dan terstruktur.

VII. LAMPIRAN

Tautan *repository* :

<https://github.com/DiyahSusan/Enkripsi-QR-Code-Metode-LU>

Tautan video :

<https://shorturl.at/SzeTy>

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis ingin mengucapkan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan tepat waktu dan sesuai dengan yang diharapkan. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada dosen matakuliah Aljabar Linear dan Geometri IF2123 karena telah memberikan banyak ilmu baru dan membuat penulis mengeksplor banyak hal baru di semester ini. Penulis ingin memberikan ucapan terima kasih untuk orang-orang yang karya tulisannya telah menginspirasi penulis dalam menyelesaikan makalah ini. Penulis juga ingin memberikan ucapan terima kasih kepada seluruh pembaca yang telah meluangkan waktu untuk membaca makalah ini. Penulis berharap makalah ini dapat bermanfaat bagi pembaca secara khusus dan masyarakat secara umum.

REFERENSI

- [1] Ariyandi, Haffas Zikri & Handayani, Anik Nur (2022). Peran Penggunaan Teknologi *QR code* untuk Meningkatkan Keterhubungan dan Efisiensi Masyarakat Menuju Era Transformasi Society 5.0. *Jurnal Inovasi Teknik dan Edukasi Teknologi*, 2 (7), 299-306.
- [2] Munir, Rinaldi (2024). Bahan kuliah IF4020 Kriptografi, Pengantar Kriptografi. Institut Teknologi Bandung.
- [3] Munir, Rinaldi (2023). Bahan kuliah IF2123 Aljabar Linier dan Geometri, Dekomposisi LU. Institut Teknologi Bandung.
- [4] Permana, Angga Aditya (2018). Penerapan Kriptografi Pada Teks Pesan dengan Menggunakan Metode *Vigenere Cipher* Berbasis Android. *Jurnal AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI* 4 (3) 110-115.
- [5] QR.net (2024). Diakses pada 28 Desember 2024 dari <https://qr.net/info/structure-of-a-qr-code/>

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 1 Januari 2025



Diyah Susan Nugrahani 13523080