

APLIKASI OPERASI MATRIKS PADA PERANCANGAN SIMULASI METODE HILL CIPHER MENGUNAKAN MICROSOFT EXCEL

Endaryono¹, Nurfidah Dwitiyanti², Heri Satria Setiawan³
Program Studi Teknik Informatika, Universitas Indraprasta PGRI^{1,2,3}
endaryono612@gmail.com, nurfidah.pulungan@gmail.com, heri.satria71@yahoo.com

Submitted January 28, 2021; Revised July 31, 2021; Accepted August 2, 2021

Abstrak

Satu dari beberapa algoritma dalam kriptografi adalah metode Hill Cipher. Metode ini dalam melakukan pengacakan isi pesan menggunakan kunci sandi berupa matriks berordo $m \times m$. Produk dalam penelitian ini berupa perancangan simulasi untuk menjelaskan bagaimana suatu pesan plaintext diubah menjadi *cipher text* dengan proses enkripsi dan dekripsi dan sebaliknya dari *ciphertext* menjadi *plaintext* melalui operasi perkalian dan invers matriks menggunakan Microsoft Excel (MS Excel). Dalam penelitian ini digunakan matriks berordo 2×2 dan modulo 26. Pada rancangan simulasi ini ditunjukkan bagaimana proses kerja secara visual setiap langkah dalam proses pengubahan isi pesan pada metode Hill Cipher. Hasil penelitian ini berupa rancangan simulasi metode Hill Cipher dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel yang digunakan sebagai media pembelajaran oleh masyarakat khususnya mahasiswa dan dosen untuk meningkatkan pemahaman dan memperluas cakrawala pemikiran tentang metode Hill Cipher dalam perkuliahan kriptografi.

Kata Kunci : Hill Cipher, kriptografi, matriks, perkalian, invers

Abstract

One of several algorithms in cryptography is the Hill Cipher method. This method is used in randomizing the contents of the message using a password key in the form of a matrix with the order MXM . The product in this research is a simulation design to explain how a plaintext message is converted into cipher text with encryption and decryption processes and vice versa from ciphertext to plaintext through multiplication and inverse matrix operations. using Microsoft Excel (MS Excel). In this study, a matrix with order 2×2 and modulo 26 was used. This simulation design shows how the work process visually for each step in the process of changing the message content in the Hill Cipher method. The results of this study are in the form of a simulation of the Hill Cipher method using the Microsoft Excel application which is used as a learning media by the community, especially students and lecturers to increase understanding and expand ideas about the Hill Cipher method in lectures.

Key Words : Hill Cipher, cryptography, matrix, multiplication, inverse

1. PENDAHULUAN

Komunikasi dan informasi memegang peranan penting. Media komunikasi dan informasi pun berkembang dengan pesat. Seseorang atau suatu kelompok yang menguasai informasi dan media informasi maka ia adalah pemenang.

Dalam suatu informasi ada banyak informasi yang bersifat khusus dan bukan

konsumsi untuk masyarakat luas. Beberapa informasi bersifat terbatas dan hanya untuk otoritas tertentu yang dapat mengaksesnya. Dibutuhkan keamanan untuk menjaga kerahasiaan informasi agar tidak sampai ke pihak lain. Metode kriptografi dan algoritma persandian perlu dilakukan agar isi pesan terlindungi dengan baik.

Secara etimologi, kriptografi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari kata *cryptos* artinya menyembunyikan rahasia dan kata *graphein* yang artinya menulis. Kriptografi adalah bagian dari matematika yang membahas tentang keamanan suatu pesan, otensifikasi data, validitas dan kerahasiaan suatu data. Kriptografi dapat pula dianggap suatu seni dalam keamanan informasi [1].

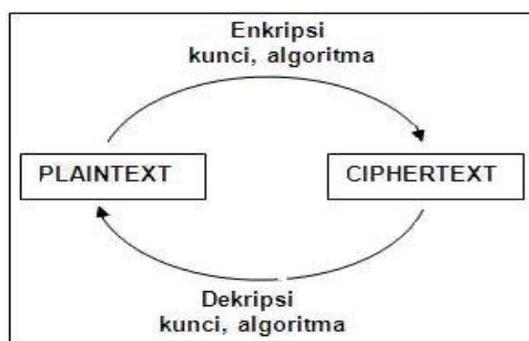
Komponen kriptografi terdiri atas:

- Plaintext, pesan asli, dapat dipahami.
- Ciphertext, pesan acak, sulit atau tak bisa dipahami.
- Key, kunci yang digunakan dalam kriptografi
- Algoritma atau *cipher* berupa urutan kerja pada aturan enkripsi (*enchiphering*) dan dekripsi (*dechiphering*) [2]

Proses dasar dari kriptografi terdiri dari:

- Enkripsi, proses penyandian, mengubah kode atau pesan yang dimengerti (plaintext) menjadi kode atau pesan yang tidak bisa dipahami (*chipertext*)
- Proses kebalikannya disebut deskripsi, mengubah ciphertexts menjadi plaintexts.
- Proses enkripsi dan dekripsi membutuhkan mekanisme dan kunci (key) dalam suatu sistem yang disebut cipher. [3]

Ilustrasi kerja operasi kriptografi dapat dilihat pada gambar 1[4]



Sumber : [4]

Gambar 1. Operasi Kriptografi

Metode Hill Cipher merupakan satu dari beberapa metode dalam kriptografi. Metode ini tidak berdasarkan pada penggantian setiap abjad yang sama pada plaintext dengan abjad lainnya yang sama pada ciphertext. Metode ini menggunakan kunci dengan suatu matriks ordo $m \times m$. Banyak hal yang dapat dilakukan pada sebuah matriks. Diantaranya perkalian matriks, mencari determinan matriks, menentukan invers matriks, trace matriks, dan lain sebagainya [5].

Teori aritmatika modulo yang diterapkan terhadap matriks $n \times n$ merupakan dasar dari konsep kerja Hill Cipher. [6] Misalkan a adalah bilangan bulat dan m adalah bilangan bulat positif. Operasi $a \bmod m$ (dibaca a modulo m) memberikan sisa r jika a jika dibagi dengan m . Notasinya ditulis: $a \bmod m = r$ mempunyai arti $a = mk + r$, dengan $0 \leq r < m$ dan k suatu kelipatan. Bilangan m disebut modulus atau modulo. Hasil aritmetika modulo m yaitu r terletak di dalam himpunan $\{0, 1, 2, \dots, m-1\}$. Beberapa contoh operasi modulo:

- $23 \bmod 5 = 3$ karena $23 = 5 \cdot 4 + 3$
- $17 \bmod 8 = 1$ karena $17 = 8 \cdot 2 + 1$
- $14 \bmod 9 = 5$ karena $14 = 9 \cdot 1 + 5$ dan seterusnya [7].

Penelitian lain yang serupa dalam pembahasan metode Hill Cipher antara lain:

- Penerapan Algoritma Hill Cipher Dan Least Significant Bit (LSB) Untuk Pengamanan Pesan Pada Citra Digital, [8]
- Kriptografi Citra Digital Menggunakan Algoritma Hill Cipher Dan Affine Cipher Berbasis Android, [9]
- Kriptanalisis Hill Cipher terhadap Known Plaintext Attack Menggunakan Metode Determinan Matriks Berbasis Android, [10]
- Implementasi Hill Cipher Pada Citra Menggunakan Koefisien Binomial Sebagai Matriks Kunci [11].

Penelitian ini membahas tentang proses kerja algoritma Hill Cipher menggunakan operasi perkalian dan invers matriks pada aplikasi Microsoft Excel (MS Excel). Pemilihan aplikasi MS Excel ini didasarkan karena aplikasi MS Excel luas penggunaannya, mudah pelaksanaannya, dan banyak kalangan yang sudah terbiasa atau familiar dengan aplikasi ini. Pada penelitian ini aplikasi MS Excel dapat dimanfaatkan untuk menunjukkan cara kerja algoritma Hill Cipher dalam kriptografi.

Tujuan penelitian ini adalah membuat suatu rancangan simulasi proses kerja enkripsi dan dekripsi algoritma Hill Cipher dengan menggunakan Microsoft Excel yang dapat menjadi pilihan media pembelajaran kriptografi oleh masyarakat khususnya mahasiswa dan dosen.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah:

- a. Studi Literatur
Dilakukan kajian-kajian teori kriptografi dan matematika berkaitan dengan aplikasi berdasarkan buku-buku ilmiah dan jurnal
- b. Pemodelan Sistem
Pemodelan sistem dilakukan agar tergambar bagian-bagian dari sistem, langkah dan alur kerja serta operasi dari setiap bagian.
- c. Perancangan Aplikasi dalam simulasi
Selanjutnya dilakukan rancangan simulasi dengan menerapkan teori dan pemodelan yang telah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Enkripsi

Formula matematis dalam proses enkripsi adalah: $C = PK$ [8]

C = Matriks *ciphertext* atau matriks pesan yang sudah diacak

P = Matriks *plaintext* atau matriks dari pesan asli

K = Matriks kunci atau matriks *key* yaitu matriks dari kunci yang digunakan dalam proses enkripsi.

Secara lengkap, operasi matematika dalam proses enkripsi sebagai berikut:

$$C_{11} = (P_{11} \cdot K_{11} + P_{12} \cdot K_{21}) \text{ mod } 26$$

$$C_{12} = (P_{11} \cdot K_{12} + P_{12} \cdot K_{22}) \text{ mod } 26$$

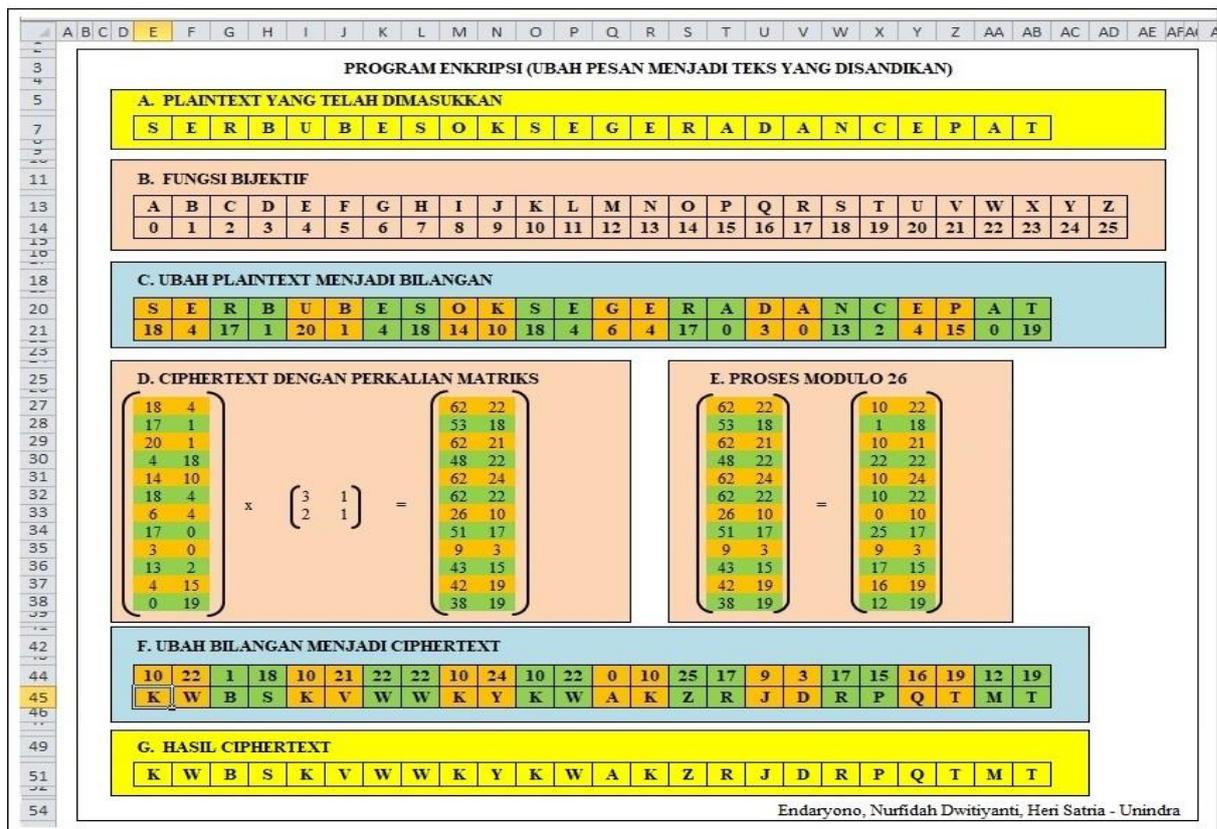
$$C_{21} = (P_{21} \cdot K_{11} + P_{22} \cdot K_{21}) \text{ mod } 26$$

$$C_{22} = (P_{21} \cdot K_{12} + P_{22} \cdot K_{22}) \text{ mod } 26$$

Formula matematis ini diterapkan dalam proses enkripsi metode Hill Cipher sebagai berikut:

1. Masukkan P atau pesan asli (*plaintext*).
2. Pesan diubah menjadi bilangan atau angka yang nilainya dari 0 sampai dengan 25 atau modulo 26. Pengubahan teks menjadi angka-angka atau bilangan berdasarkan penerapan fungsi bijektif.
3. Semua bilangan selanjutnya disusun menjadi beberapa blok atau partisi membentuk suatu matriks dengan ordo $m \times 2$. Hasil dari langkah ini berupa matriks pesan atau M_p .
4. Masukkan kunci untuk persandian berupa matriks persegi ordo 2×2 . Selanjutnya matriks ini disebut dengan matriks kunci atau M_k
5. Lakukan perkalian antara matriks pesan (M_p) ordo $m \times 2$ dengan matriks kunci (M_k) ordo 2×2 . Hasilnya adalah matriks Cipher (M_c) ordo $m \times 2$.
Persamaan matematika: $M_c = M_p \cdot M_k$.
6. Lakukan operasi aritmatika modulo 26 pada matriks cipher M_c sehingga semua anggota atau elemen matriks cipher M_c dimulai dari 0 sampai dengan 25.
7. Susun kembali partisi-partisi atau blok-blok pada matriks cipher M_c dalam susunan mendatar atau horizontal.
8. Ubah bilangan-bilangan pada susunan horizontal menjadi abjad dengan menggunakan fungsi bijektif.

Tampilan muka input dan output proses enkripsi dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Langkah Kerja dalam Proses Enkripsi

Penjelasan gambar 2 tentang langkah kerja dalam proses enkripsi sebagai berikut:

- Plaintext yang telah dimasukkan adalah: SERBUBESOKSEGERADANCEPAT
- Dibuat fungsi bijektif atau fungsi satu-satu, dengan domain himpunan abjad = {a, b, ..., z} dan kodomain berupa angka modulo 26 = {0, 1, ..., 25}
- Ubah plaintext menjadi bilangan dengan fungsi bijektif. Formula MS Excel yang digunakan:
 $E21=LOOKUP(E20; \$E\$13: \$AD\$13; \$E\$14: \$AD\$14)$
- Lakukan perkalian antara matriks *plain text* dengan matriks kunci dan hasilnya matriks *ciphertext* atau matriks sandi. Formula excel yang digunakan:
 $M27=(E27* \$I\$32)+ (F27* \$I\$33)$
- Lakukan proses modulo 26 pada matriks ciphertext atau matriks sandi. Formula excel yang digunakan adalah:
 $X27=MOD(T27; 26)G$

- Ubah bilangan menjadi abjad untuk *ciphertext*. Formula excel yang digunakan:
 $E45=LOOKUP(E44; \$E\$14: \$AD\$14; \$E\$13: \$AD\$13)$
- Hasil *cipher text* adalah copy dari point F. Formula excelnnya adalah: E50=E45

Proses Deskripsi

Formula matematis dalam proses dekripsi adalah: $P = CK^{-1}$ [6]
 P = Matriks *plaintext* atau matriks dari pesan asli
 C = Matriks *ciphertext* atau matriks pesan yang sudah diacak
 K^{-1} = Invers matriks kunci atau invers matriks *key* yaitu invers dari matriks kunci yang digunakan dalam proses enkripsi.
 Secara lengkap, operasi matematika dalam proses enkripsi sebagai berikut:
 $C_{11} = (P_{11} \cdot K^{-1}_{11} + P_{12} \cdot K^{-1}_{21}) \text{ mod } 26$
 $C_{12} = (P_{11} \cdot K^{-1}_{12} + P_{12} \cdot K^{-1}_{22}) \text{ mod } 26$

$$C_{21} = (P_{21} \cdot K_{11}^{-1} + P_{22} \cdot K_{21}^{-1}) \text{ mod } 26$$

$$C_{22} = (P_{21} \cdot K_{12}^{-1} + P_{22} \cdot K_{22}^{-1}) \text{ mod } 26$$

dan seterusnya.

Formula matematis ini diterapkan dalam proses dekripsi metode Hill Cipher sebagai berikut:

1. Masukkan C pesan sandi (*cipher text*).
2. Pesan sandi diubah menjadi angka yang nilainya dari 0 sampai dengan 25 atau modulo 26. Pengubahan teks menjadi angka berdasarkan fungsi bijektif.
3. Selanjutnya semua bilangan disusun menjadi blok-blok dan terbentuk matriks dengan ordo mx2. Hasil dari langkah ini berupa matriks sandi **Mc**.
4. Masukkan kunci untuk persandian berupa matriks persegi ordo 2x2. Selanjutnya matriks ini disebut dengan matriks kunci atau **Mk**. Matriks kunci

selanjutnya diubah menjadi invers matriks kunci atau **Mk⁻¹**

5. Lakukan perkalian antara matriks sandin (**Mc**) ordo mx2 dengan invers matriks kunci (**Mk⁻¹**) ordo 2x2. Hasilnya matriks pesan (**Mp**) ordo mx2. Dalam persamaan matematika ditulis: **Mp = Mc . Mk⁻¹**.
6. Lakukan operasi aritmatika modulo 26 pada matriks pesan **Mp** sehingga semua anggota matriks pesan dimulai dari 0 sampai dengan 25.
7. Susun kembali blok-blok pada matriks pesan **Mp** dalam susunan mendatar atau horizontal.
8. Ubah bilangan-bilangan pada susunan horizontal menjadi abjad dengan menggunakan fungsi bijektif.

Tampilan muka input dan output proses dekripsi dapat dilihat pada gambar 3

The screenshot shows a spreadsheet application with the following content:

PROGRAM DEKRIPSI (UBAH PESAN YANG DISANDIKAN MENJADI PESAN SEMULA)

A. CIPHER TEXT YANG TELAH DIMASUKKAN
K W B S K V W W K Y K W A K Z R J D R P Q T M T

B. FUNGSI BIJEKTIF

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

C. UBAH CIPHERTEXT MENJADI BILANGAN

K	W	B	S	K	V	W	W	K	Y	K	W	A	K	Z	R	J	D	R	P	Q	T	M	T
10	22	1	18	10	21	22	22	10	24	10	22	0	10	25	17	9	3	17	15	16	19	12	19

D. INVERS DARI MATRIKS KUNCI
Mk⁻¹
 $\begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 3 \end{pmatrix}$

E. MENCARI PLAINTEXT DENGAN PERKALIAN

$$\begin{pmatrix} 10 & 22 \\ 1 & 18 \\ 10 & 21 \\ 22 & 22 \\ 10 & 24 \\ 10 & 22 \\ 0 & 10 \\ 25 & 17 \\ 9 & 3 \\ 17 & 15 \\ 16 & 19 \\ 12 & 19 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -34 & 56 \\ -35 & 53 \\ -32 & 53 \\ -22 & 44 \\ -38 & 62 \\ -34 & 56 \\ -20 & 30 \\ -9 & 26 \\ 3 & 0 \\ -13 & 28 \\ -22 & 41 \\ -26 & 45 \end{pmatrix}$$

F. PROSES MODULO 26

-34	56	18	4
-35	53	17	1
-32	53	20	1
-22	44	4	18
-38	62	14	10
-34	56	18	4
-20	30	6	4
-9	26	17	0
3	0	3	0
-13	28	13	2
-22	41	4	15
-26	45	0	19

G. UBAH BILANGAN MENJADI PLAINTEXT

18	4	17	1	20	1	4	18	14	10	18	4	6	4	17	0	3	0	13	2	4	15	0	19
S	E	R	B	U	B	E	S	O	K	S	E	G	E	R	A	D	A	N	C	E	P	A	T

H. HASIL PLAIN TEXT
S E R B U B E S O K S E G E R A D A N C E P A T

Endaryono, Nurfidah Dwitiyanti, Heri Satria - Unindra

Gambar 3. Langkah kerja dalam proses dekripsi

Penjelasan gambar 3 tentang langkah kerja dalam proses enkripsi sebagai berikut:

- a. Plaintext yang telah dimasukkan adalah: KWBSKVWWKYKWAKZRJDRPQTM

- b. Dibuat fungsi bijektif atau fungsi satu-satu, dengan domain himpunan abjad = {a, b, ..., z} dan kodomain berupa angka modulo 26 = {0, 1, ..., 25}
- c. Ubah abjad dari pesan sandi (*ciphertext*) menjadi bilangan dengan fungsi bijektif. Formula Excel yang digunakan: $D21=LOOKUP(D20;D\$13:\$AC\$13;D\$14:\$AC\$14)$
- d. Lakukan operasi invers matriks kunci atau matriks sandi M_k menjadi M_k^{-1}
- e. Lakukan perkalian antara matriks *ciphertext* dengan invers matriks kunci dan hasilnya matriks pesan (*plaintext*). Formula excel yang digunakan: $Q27=IF(\$H\$33=0;(K27*\$N\$32)+(L27*\$N\$33);"")$
- f. Lakukan proses modulo 26 pada matriks pesan atau matriks *plaintext*. Formula excel yang digunakan adalah: $Y27 = IF(\$H\$33=0;MOD(V27;26);"")$
- g. Ubah bilangan menjadi abjad untuk *plaintext*. Formula excel yang digunakan:

$$D45=IF(\$H\$33=0;LOOKUP(D44;D\$14:\$AC\$14;D\$13:\$AC\$13);"")$$

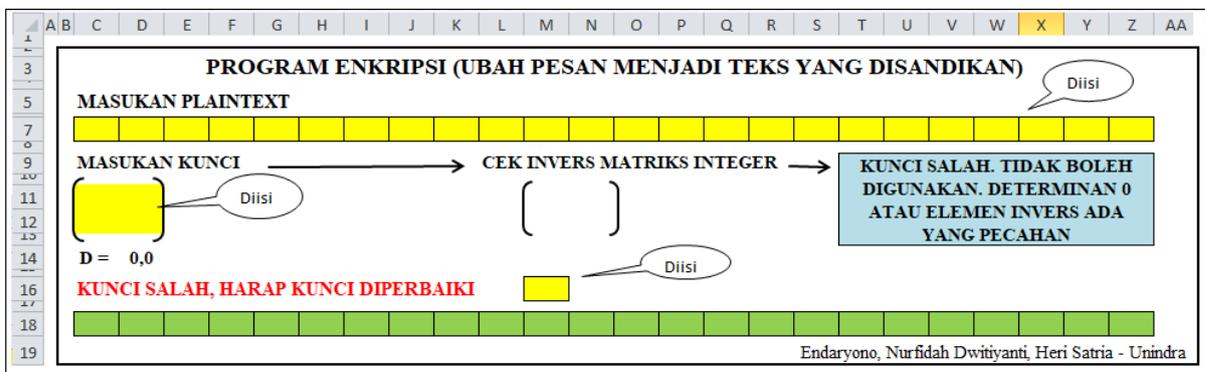
- h. Hasil *plaintext* adalah copy dari point G. Formula excelnya adalah: $D51=D45$

Implementasi

Selanjutnya dilakukan implementasi rancangan simulasi. Pelaksanaan melalui dua halaman aplikasi, yaitu:

- a. Halaman input dan output proses enkripsi
- b. Halaman input dan output proses enkripsi.

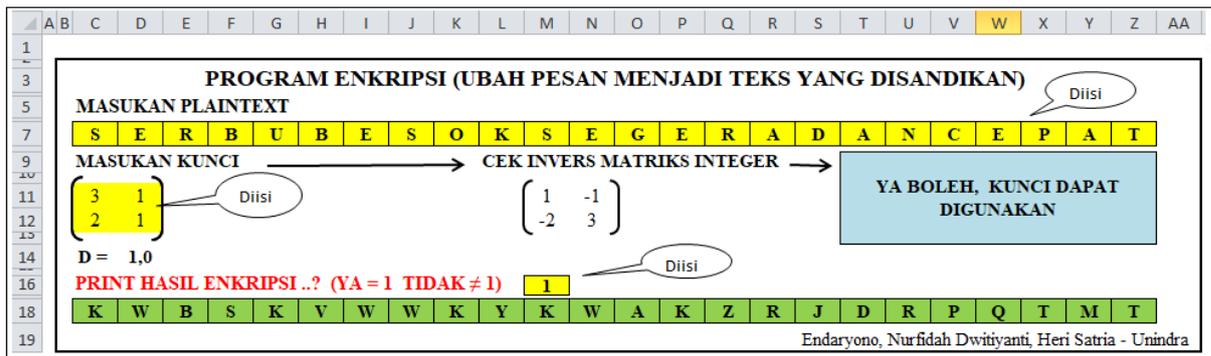
Pada halaman input dan output proses enkripsi pengguna atau *user* menginputkan isi pesan. Sebelum pengguna memasukkan isi pesan (*plaintext*) dan belum memasukkan matriks sandi atau matriks kunci, maka halaman pada aplikasi excel belum menampilkan pesan sandi (*ciphertext*). Tampilan awal sebelum pengguna (*user*) memasukkan pesan dan kunci dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Tampilan Halaman Input dan Output Proses Enkripsi Sebelum User Memasukkan Kunci

Kemudian pengguna atau *user* menginputkan pesan dan kunci sandi berupa matriks ordo 2x2. Aplikasi secara otomatis akan menampilkan pesan yang

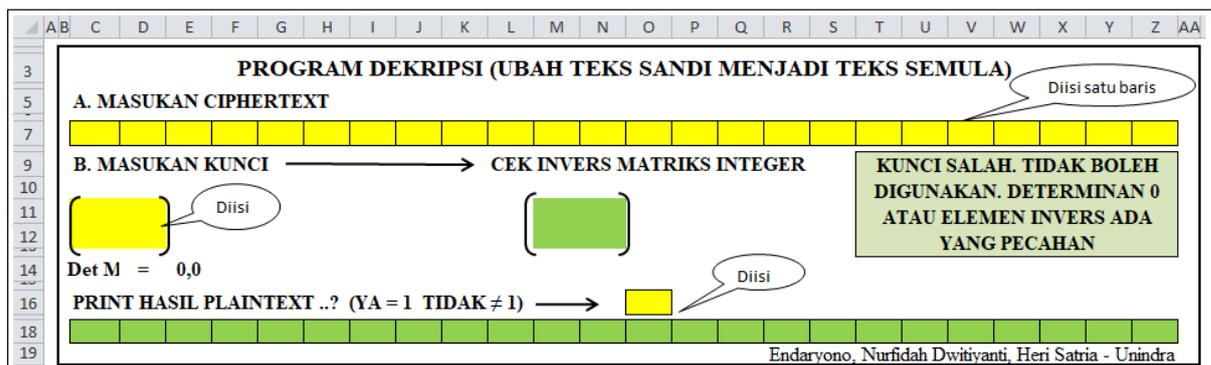
telah disandikan atau *cipher text* Tampilan pada aplikasi setelah pengguna atau *user* memasukkan pesan dan matriks kunci atau matriks asndi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Halaman Proses Enkripsi Setelah User Memasukkan Kunci

Seperti pada pelaksanaan enkripsi, maka dalam pelaksanaan dekripsi, tahap awal, *user* harus memasukkan pesan yang telah disandikan (*ciphertext*). Saat *user* belum menginput pesan sandi dan matriks kunci,

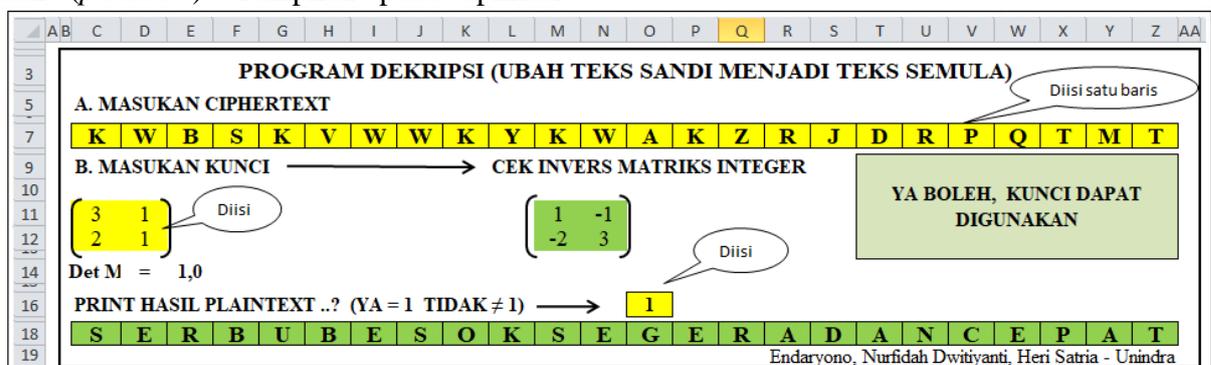
aplikasi belum menampilkan hasil atau belum ada respon. Tampilan awal sebelum *user* memasukkan pesan sandi dan kunci dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Tampilan Halaman Proses Dekripsi Sebelum User Memasukkan Kunci

Kemudian pengguna atau *user* menginputkan pesan sandi dan matriks kunci atau matriks sandi dengan ordo 2x2. Aplikasi otomatis akan menampilkan pesan asli (*plaintext*). Tampilan pada aplikasi

setelah pengguna atau *user* memasukkan pesan sandi (*plaintext*) dan matriks kunci atau matriks sandi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Halaman Proses Deskripsi Setelah User Memasukkan Kunci

Beberapa catatan tentang penginputan matriks kunci (*key matrix*) untuk proses pengacakan pesan asli (*plain text*) adalah:

1. Matriks kunci yang diinputkan adalah matriks persegi ordo 2×2 dengan jumlah elemen empat.
2. Elemen yang diinputkan harus membentuk matriks *invertible* atau *nonsingular*, yaitu matriks yang determinannya tidak nol sehingga memiliki invers matriks.
3. Determinan harus bernilai 1 atau -1. Jika determinan bernilai selain 1 atau -1 menyebabkan elemen-elemen pada invers matriks bernilai pecahan dan pada rancangan simulasi ini tidak bisa dilakukan perhitungan aritmatika modulo.
4. Persyaratan dalam determinan harus bernilai 1 atau -1 menyebabkan kemungkinan kunci menjadi terbatas.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa uji coba hasil perancangan simulasi metode Hill Cipher dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel dapat berjalan dan proses kerja dapat berfungsi dengan baik.

Aplikasi simulasi ini dapat dijadikan sebagai pilihan media pembelajaran kriptografi.

Penelitian ini menggunakan modulo 26 yaitu dari 0 sampai dengan 25 sesuai jumlah abjad atau alfabet dengan matriks kunci atau *key matrix* untuk persandian yang digunakan adalah matriks persegi dengan ordo 2×2 .

Entri-entri yang diinput untuk elemen matriks kunci harus merupakan bilangan bulat (*integer*).

Matriks kunci yang diinputkan harus merupakan matriks *nonsingular* atau matriks yang mempunyai invers. Dengan kata lain, matriks kunci yang diinput tidak boleh memiliki determinan 0.

Matriks kunci yang diinputkan juga harus memiliki nilai determinan 1 atau -1 agar elemen-elemen pada invers matriks tidak bernilai pecahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Adhar, "Implementasi Algoritma Des (Data Encryption Standard) Pada Enkripsi Dan Deskripsi Sms Berbasis Android," *J. Tek. Inform. Kaputama*, vol. 3, no. 2, pp. 53–60, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.kaputama.ac.id/index.php/JTIK/article/view/185>.
- [2] A. Prayitno and N. Nurdin, "Analisa Dan Implementasi Kriptografi Pada Pesan Rahasia," *J. Elektron. Sist. Inf. dan Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2017, [Online]. Available: nnurdin69@gmail.com.
- [3] B. Solihin Hasugian, "Peranan Kriptografi Sebagai Keamanan Sistem Informasi Pada Usaha Kecil Dan Menengah," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019, doi: <https://doi.org/10.46576/wdw.v0i53.269>.
- [4] P. Nur Arifah and W. A. Basuki, "Implementasi Kriptografi Caesar Cipher," in *Seminar Matematika Dan Pendidikan Matematika Uny 2017*, 2017, pp. 297–304.
- [5] F. Aryani and Yulianis, "Trace Matriks Berbentuk Khusus 2×2 Berpangkat Bilangan Bulat Negatif," *J. Sains Mat. dan Stat.*, vol. 4, no. 2, pp. 105–113, 2018.
- [6] L. J. Pangaribuan, "Kriptografi Hibrida Algoritma Hill Cipher Dan Rivest Shamir Adleman (RSA) Sebagai Pengembangan Kriptografi Kunci Simetris (Studi Kasus: Nilai Mahasiswa Amik Mbp)," *J. Teknol. Inf. Dan Komun.*, vol. 7, no. 1, pp. 11–26, 2018.

- [7] I. W. Rachmawati and R. Setiawan, "Analisis Gabungan Strategi Memilih Notasi yang Tepat dan Membentuk Masalah yang Setara Dalam Menentukan Sisa Pembagian," *J. Pendidik. Mat. dan Mat. Solusi*, vol. II, no. 3, pp. 242–251, 2018.
- [8] D. Laoli, B. Sinaga, and A. S. R. M. Sinaga, "Penerapan Algoritma Hill Cipher Dan Least Significant Bit (LSB) Untuk Pengamanan Pesan Pada Citra Digital," *JISKA (Jurnal Inform. Sunan Kalijaga)*, vol. 4, no. 3, p. 1, 2020, doi: 10.14421/jiska.2020.43-01.
- [9] E. R. Febrianto and E. A. Sarwoko, "Kriptografi Citra Digital Menggunakan Algoritma Hill Cipher Dan Affine Cipher Berbasis Android," vol. 10, pp. 11–21, 2018.
- [10] W. Y. Azhar, S. Supriyadi, and Y. Yanitasari, "Kriptanalisis Hill Cipher Terhadap Known Plaintext Attack Menggunakan Metode Determinan Matriks Berbasis Android," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 579, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i2.1535.
- [11] Supiyanto, "Implementasi Hill Cipher Pada Citra Menggunakan Koefisien Binomial," *Semin. Nas. Inform. 2015 (semnasIF 2015)*, vol. 2015, no. November, pp. 284–291, 2015.