Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Dan Informasi
Vol. 2, No. 2, Juli 2024, Hal 74 - 86
ISSN: **2963-0169** (Online - Elektronik)
https://journal.grahamitra.id/index.php/jurikti

Penerapan Algoritma Double Data Encryption Standard Untuk Pengamanan File Citra Digital

Feronika Laia

Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Prodi Teknik Informatika, Universitas Budi Darma Medan, Indonesia
Jl. Sisingamangaraja No. 338, Medan, Sumatera Utara, Indonesia
Email: feronikalaia12@gmail.com

Abstrak−Keamanan merupakan suatu hal yang sangat penting, karena berkaitan dengan kerahasiaan atau privasi. Jika suatu data hilang atau diubah oleh pihak yang tidak bertanggungjawab maka dapat merugikan pemilik data tersebut. Saat ini dimana masih banyak orang menngunakan *file* penting yang sebenarnya tidak boleh diketahui oleh orang lain,tetapi masih masih saja ada orang yang melakukan pencurian data atau *file* tersebut untuk kepentingan pribadinya, sehingga menimbulkan masalah pada *file* atau data tersebut. Seiring dengan berkembangnya teknologi yang semakin canggih maka faktor untuk menjaga kerahasiaan *file* atau data menjadi hal yang penting bagi orang yang tidak berkepentingan agar tdak dapat mengakses *file* atau data tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengamankan sebuah data atau *file* adalah dengan menggunakan *algoritma double data encryption standard*, penggunaan algoritma ini data atau *file* akan dikuncigandakan dengan melakukan proses enkripsi dan deskripsi. Algoritma ini dapat mengenkripsi *file*, data, audio, video dan lain-lain. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan mengenai pengamanan *file* citra menggunakan algoritma *double data encryption standard* ini, maka *file* ataupun data yang dimiliki akan sulit utuk diketahui dan untuk proses enkripsi dan deskripsi *file* yang besar akan memerlukan waktu yang lama , karena pada *file* citra dan data tersebut telah dilakukan penyandian sehingga tidak akan mudah terjadi penyadapan atau penyerangan pada *file* atau data tersebut sehingga terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan.

Kata Kunci: *Kriptografi, file,* citra, algoritma 2DES.

Abstract−*Security is a very important thing, because it is related to confidentiality or privacy. If data is lost or changed by irresponsible parties, it can harm the owner of the data. Currently, many people still use important files that other people should not know about, but there are still people who steal data or files for their personal interests, thus causing problems with the files or data. As technology becomes increasingly sophisticated, the factor of maintaining the confidentiality of files or data becomes important so that unauthorized people cannot access the files or data. One method that can be used to secure data or files is to use a standard double data encryption algorithm. Using this algorithm, data or files will be double locked by carrying out the encryption and description process. This algorithm can encrypt files, data, audio, video and others. From the results of tests that have been carried out regarding the security of image files using this standard double data encryption algorithm, the files or data that are owned will be difficult to identify and the process of encrypting and describing large files will take a long time, because of the image and data files. Encryption has been carried out so that it will not be easy for the files or data to be intercepted or attacked, thus avoiding unwanted things.*

Keywords*: Cryptography, files, images, 2DES algorithm*

1. PENDAHULUAN

Citra digital merupakan salah satu jenis data yang saat ini banyak digunakan dalam berkomunikasi baik secara langsung, maupun melalui media internet. Perkembangan media sosial saat ini sudah sangat mempermudah seseorang untuk saling berkomunikasi, bertukar informasi atau bertukar pesan baik dalam bentuk teks, *file*, citra, audio maupun video. Namun disisi lain perkembangan tersebut menyebabkan semakin mudahnya pihak-pihak tertentu untuk melakukan penyerangan dan penyalahgunaan terhadap data atau informasi yang didistribusikan seperti tindakan penyadapan data atau informasi, memanipulasi data, *file* ataupun informasi untuk kepentingan tertentu.

Keamanan citra pada saat ini sangatlah tidak aman karena pada saat ini masih banyak orang yang suka memanipulasi data, *file* ataupun informasi tertentu untuk kepentingan pribadinya. Oleh karena itu, sangat penting untuk mencegahnya jatuh ketangan pihak-pihak lain yang tidak berkepentingan. Pengamanan *file* dalam bentuk citra menjadi salah satu solusi untuk keamanan sebuah *file* yang bersifat rahasia jika *file* tersebut ingin dikirimkan.

Berdasarkan penelitian terdahulu mengatakan bahwa keamanan merupakan salah satu aspek penting dalam pengiriman data maupun komunikasi melalui jaringan. Salah satu cara untuk menjaga keamanan dan kerahasiaan suatu data maupun informasi adalah dengan teknik enkripsi dan dekripsi atau disebut dengan teknik kriptografi [1].

Kiptografi adalah ilmu dan seni untuk menjaga keamanan pesan ketika pesan dikirim dari suatu tempat ke tempat yang lain. Kriptografi bertujuan untuk mengamankan isi data atau menjaga kerahasiaan informasi dari orang yang tidak berhak untuk mengetahui isi data tersebut. Dengan teknik atau algoritma tertentu yang disebut proses enkripsi (*encrypt*), data diubah menjadi data sandi yang bentuknya berbeda dengan data aslinya. Orang yang berhak menerima data akan dan memiliki kunci untuk mengembalikan data sandi menjadi bentuk data aslinya, proses ini disebut dekripsi (*decrypt*

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengatakan bahwa kriptografi dapat mengatasi masalah keamanan data dengan menggunakan kunci, yang dalam hal ini algoritma tidak dirahasiakan lagi, tetapi kunci harus tetap dijaga kerahasiaannya [2].

Algoritma *double data encryption standard* merupakan salah satu algoritma simetris pada kriptografi yang digunakan untuk mengamankan data dengan cara menyandikan data. Proses yang dilakukan dalam penyandian datanya,

yaitu proses enkripsi dan proses dekripsi. Proses enkripsi dan dekripsi suatu data dengan algoritma DDES dengan menggunakan *plaintext* dan dengan pemilihan kuncinya secara bebas. Sehingga dapat membangkitkan kunci internal pada proses enkripsi dan enkripsi data sehingaga tidak memudahkan seseorang untuk melakukan pencurian atau penyalahgunaan suatu *file* atau data penting.

Berdasarkan penelitian yang mengimplementasikan metode DDES menyimpulkan bahwa algoritma *Double Data Encryption Standard* dapat diterapkan untuk mengenkripsi dan mendekripsi file yang berukuran besar secara *real-time.* Waktu yang digunakan untuk melakukan proses enkripsi dan dekripsi juga dapat di persingkat menggunakan operasi *Electronic Code Book (ECB)* yang dilakukan secara paralel dengan memanfaatkan *library* [3].

Penelitian ini menguraikan bagaiaman mengimplementasikan algoritma *Double Data Encryption Standard* (DDES) untuk meningkatkan pengamanan file citra yang besifat rahasia dengan tujuan agar pola asli dari citra digital tidak lagi dapat diketahui oleh orang lain. Proses penerapan metode ini dilakukan dengan menyandikan nilai-nilai warna citra digital yang akan diamankan sehingga ketika dipetakan menjadi citra yang baru (citra hasil penyandian) akan dihasilan cita yang tidak sama seperti citra aslinya.

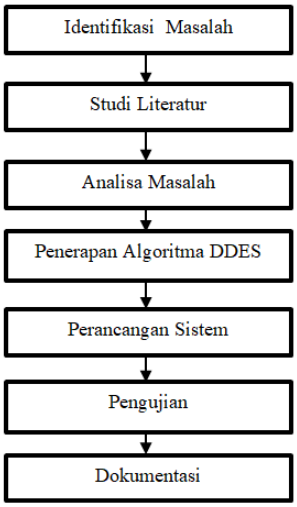
Berdasarkan latar belakang di atas, maka topik penelitian ini adalah judul **"Penerapan Algoritma *Double Data Encryption Standard* Untuk Pengamanan *File* Citra Digital" .**

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Kerja Penelitian

Dalam melakukan peneitian ini, penulis melakukan beberapa tahapan tahapan, metode mengumpulkan data yang di pakai agar mendapat data yang sangat di perlukan penulis yaitu sebagai berikut:

a. Mengidentifikasi Masalah merupakan tahap mengidentifikasi masalah untuk mengetahui masalah apa yang dihadapi dalam pengamanan *file* citra digital, sehingga setelah diidentifikasi, maka akan dicari solusi untuk memecahkan permasalahan tersebut.
b. Studi Literatur dilakukan untuk mencari data dan informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang diteliti. Studi literatur diambil dari berbagai sumber seperti artikel ilmiah, buku dan jurnal yang berkaitan dengan permasalahan yang ingin diselesaikan pada penelitian ini.
c. Analisa Masalah adalah tahap berikutnya yang dilakukan setelah penelitin berhasil mendapatkan beberapa uraian permasalahan. Pada peneltian ini analisa masalah yang dihasilkan adalah bagaimana cara mengamankan file pada citra digital.
d. Penerapan algoritma *double data encryption standard* dilakukan dengan memanfaatkan nilai *pixel* untuk proses pengamanan *file* pada citra. Nilai citra desimal dari sampel data akan digunakan untuk melakukan proses pembangkitan kunci, enkripsi dan dekripsi berdasarkan algoritma DDES dalam pengamanan pada *file* citra dengan tujuan agar tidak mudah disalahgunakan oleh pihak tertentu.
e. Perancangan Sistem dimulai dengan pemodelan kemudian merancang atau mendesain suatu aplikasi pengamanan menggunakan bahasa pemrogramman *Microsoft Visual Studio* 2008.
f. Pengujian Merupakan tahap pelaksanaan pengujian aplikasi yang sudah selesai. Pengujian yang dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pengujian proses enkripsi dan pengujian proses deskripsi. Pengujian dilakukan untuk melihat kesesuaian hasil yang diperoleh dari aplikasi yang telah rancang untuk pengamanan *file* tersebut.
g. Dokumentasi dilakukan untuk mendokumentasikan seluruh kegiatan penelitian dalam bentuk skripsi yang nantinya juga dibuat dalam bentuk artikel ilmiah yang akan dipublikasikan.



Gambar 1. Kerangka Kerja Penelitian

Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Dan Informasi
Vol. 2, No. 2, Juli 2024, Hal 74 - 86
ISSN: **2963-0169** (Online - Elektronik)
https://journal.grahamitra.id/index.php/jurikti

2.2 Kriptografi

Kriptografi merupakan ilmu yang mempelajari teknik matematika yang berhubungan dengan aspek keamanan informasi, seperti kerahasiaan data, keabsahan data, dan integritas data serta autentifikasi data. Kriptografi adalah ilmu untuk mempelajari penulisan secara rahasia dengan tujuan bahwa komunikasi dan data dapat dikodekan (*encode/encrypt*) dan dikodekan (*decode/decrypt*) kembali untuk mencegah pihak-pihak lain yang ingin mengetahui isinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penerapan Algoritma DDES untuk Mengamankan *File* Citra

Penerapan metode DDES dalam mengamankan *file* citra digital dilakukan dengan menyandikan atau mengubah nilai-nilai *pixel* citra asli menjadi nilai-nilai baru. Proses penyandian ini dilakukan per blok *hexadecimal* dari citra. Jumlah bit per blok proses DDES adalah 64 bit.
Ada tiga proses utama yang harus dilakuakan dalam penerapan algoritma DDES ini adalah:

a. Proses Pembangkitan Kunci pada penerapan algoritma DDES adalah dua buah kunci eksternal. Kunci eksternal yang dihasilkan bersumber dari 128 bit kunci awal (*initial key*) yang dikelompokkan menjadi dua kelompok masing-masing 64 bit (64 bit menjadi K1 dan 64 bit menjadi K2). Kunci awal (*initial key*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa *string* : K1 = fero0987 dan K2 = 7890nika

Tabel 2. Kunci Eksternal

K1			K2		
Char	**Decimal**	**Biner**	**Char**	**Decimal**	**Biner**
f	102	01100110	7	55	00110111
e	101	01100101	8	56	00111000
r	114	01110010	9	57	00111001
o	111	01101111	0	48	00110000
0	48	00110000	n	110	01101110
9	57	00111001	i	105	01101001
8	56	00111000	k	107	01101011
7	55	00110111	a	97	01100001

1. Proses Pembentukan Kunci 1 (K1)
   Biner kunci K1:
   01100110011001010111001001101111001100000011100100111000000110111
   Lakukan permutasi *compression* 1 (PC 1) terhadap 64 bit K1. Proses PC 1 dilakukan untuk mengkompresi 64 bit K1 menjadi 56 bit.

Tabel 3. Tabel PC-1

57	49	41	33	25	17	9
1	58	50	42	34	26	18
10	2	59	51	43	35	27
19	11	3	60	52	44	36
63	55	47	39	31	23	15
7	62	54	45	38	30	22
14	6	61	53	45	37	29
21	13	5	28	20	12	4

   Nilai-nilai yang ada di dalam tabel menunjukkan posisi bit yang diambil dan diletakkan pada lokasi nilai kolom di dalam tabel PC-1 di atas. berdasarkan tabel di atas terlihat kolom pertama nilainya 57, artinya bahwa dari *string* bit kunci (K1), ambil bit pada posisi ke-57 dan letakkan menjadi bit awal (menjadi bit posisi pertama).
   01100110011001010111001001101111001100000011100100111000**0**011011

   Berdasarkan proses tersebut, maka 8 bit dari 64 bit K1 awal akan dibuang dan dimampatkan menjadi 56 bit. Hasil akhir dari proses ini adalah:
   PC-1 = 00000000000011111111111111111000110110101011011010000100
   Berjumlah 56 bit.

   Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan biner PC-1 menjadi 2 kelompok (C0 dan D0) masing-masing 28 bit kemudian melakukan proses *Shif Left* Bit

   C0 = 00000000000011111111111111 = 28 bit awal
   D0 = 10001101101010110110100000100 = 28 bit berikutnya

Proses selanjutnya adalah melakukan operasi pergeseran bit (*shift left bit operation*) Proses ini merupakan proses pergeseran sejumlah bit dari kiri ke kanan baik biner C0 maupun D0. Jumlah bit yang digeser sesuai dengan tabel *shift left* bit yang sudah ditentukan oleh algoritma DDES.

Tabel 3. Hasil Proses *Shift Left* Bit

Ketentuan		C0	D0
Putaran	**Jumlah pindah**		
		00000000000001111111111111111	**10001101101010110110100001 00**
1	1	00000000000011111111111111110	00011011010101101101000010 01
2	1	00000000001111111111111111100	00110110101011011010000100 10
3	2	00000000111111111111111110000	11011010101101101000010010 00
4	2	00000011111111111111111000000	01101010110110100001001000 11
5	2	00001111111111111111100000000	10101011011010000100100011 01
6	2	00111111111111111110000000000	10101101101000010010001101 10
7	2	11111111111111111000000000000	10110110100001001000110110 10
8	2	11111111111111100000000000011	11011010000100100011011010 10
9	1	11111111111111000000000000111	10110100001001000110110101 01
.....	.....	.....	.....
16	1	00000000000001111111111111111	10001101101010110110100001 00

Gabungkan kembali masing-masing nilai C0 dan D0 yang ada pada tabel 4.3 di atas, sehingga dihasilkan:

C[1],D[1] =	0000000000011111111111111110000110110101011011010000100 1
C[2],D[2] =	0000000000111111111111111100001101101010110110100001001 0
C[3],D[3] =	0000000011111111111111111000011011010101101101000010010 00
C[4],D[4] =	0000001111111111111111100000001101010110110100001001000 11
C[5],D[5] =	0000111111111111111110000000010101011011010000100100011 01
C[6],D[6] =	0011111111111111111000000000010101101101000010010001101 10
C[7],D[7] =	1111111111111111100000000000010110110100001001000110110 10
C[8],D[8] =	1111111111111110000000000001111011010000100100011011010 10
C[9],D[9] =	1111111111111000000000000111101101000010010001101101010 1
.....	.....
C[16],D[16] =	0000000000001111111111111111100011011010101101101000010 0

Berdasarkan hasil di atas, terlihat bahwa jumlah bit untuk masing-masing kelompok gabungan masih 56 bit. Langkah selanjutnya adalah melakukan proses Permutasi *Compression* 2 (PC-2) terhadap setiap nilai gabungan C0, D0 di atas.

Tabel 4. Tabel PC-2

14	17	11	24	1	5	3	28
15	6	21	10	23	19	12	4
26	8	16	7	27	20	13	2
41	52	31	37	47	55	30	40
51	45	33	48	44	49	39	56
34	53	46	42	50	36	29	32

Hasil dari proses PC-2 ini akan menjadi kunci eksternal pertama (K1) yang digunakan pada proses enkripsi pertama. Hasil seluruh proses PC-2 diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Kunci Eksternal K1

Index	Biner Kunci K1
K[0] =	11010000101011101010111000000001011100010111010 1
K[1] =	11110000101011101010011011111100010010101001000 1
K[2] =	11110000101111100010011000010011011000100101101 1
K[3] =	11100000101101100111011010110111011000100000000
K[4] =	11100100110101100111011010100000001001110110011 0
K[5] =	11100110110100110111001001111100101010101000011 0
K[6] =	10101110110100110111001101110100010001001101101 1
K[7] =	10101111010100110101101100001111101100000100101 1
K[8] =	00101111010100111101101101101000000001111011101 1
K[9] =	00111111010100011101100101011111010110000000101 1

Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Dan Informasi
Vol. 2, No. 2, Juli 2024, Hal 74 - 86
ISSN: **2963-0169** (Online - Elektronik)
https://journal.grahamitra.id/index.php/jurikti

.....	.....
K[15] =	1101000110101100101011101001100000101110101001 10

Sampai pada tahap ini, telah dihasilkan 16 kunci untuk proses enkripsi peratama. Proses pembangkitan kunci kedua (K2) dengan kunci K2 awal = **7890nika**, dilakukan dengan cara yang sama seperti di sebelumnya, sehingga dihasilkan 16 kunci eksternal kedua (K2). Adapun string biner Kunci K2:

0011011100111000001110010011000001101110011010010110010110110000 1

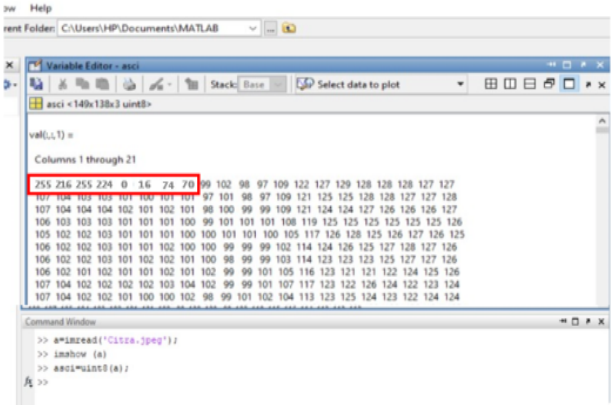
Tabel 6. Kunci Eksternal K2

Index	Biner Kunci K2
K[0] =	0110000000111100011001000110110001000110011010 10
K[1] =	0100000010110100011101000101001011011101111100 00
K[2] =	1100010011000100011101100100100110001101001111 01
K[3] =	1110011011000011001000101100101101111100100110 00
K[4] =	1010101010010011001000110110100101010011001111 01
K[5] =	1010100100010010010110111001001101011000101011 10
K[6] =	0010010101010010110110001100010000011011101101 01
K[7] =	0001011001011001110100001001001100101010111111 01
K[8] =	0001011001001001010100011110000101100110010001 11
.....	.....
K[15] =	0111000000111111000000100000011111001101101101 01

b. Proses Enkripsi berdasarkan algoritma DDES dilakukan sebanyak dua kali dengan melibatkan K1 dan K2. Masing-masing proses enkripsi terdiri dari 16 *round*. Sehingga, untuk mendapatkan *chiper* citra digital berdasarkan algoritma ini harus melalui 32 *round*. Agar memudahkan proses pengerjaan, maka diambil sebanyak satu blok bit (64 bit sesuai dengan syarat algoritma DDES untuk jumlah bit setiap kelompok).

Gambar 2. Citra Sampel Berjenis *Grayscale*

Software yang digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai pixel citra sampel adalah menggunakan *software* Matlab.



Gambar 3. Nilai *Decimal* Citra Sampel

Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Dan Informasi
Vol. 2, No. 2, Juli 2024, Hal 74 - 86
ISSN: **2963-0169** (Online - Elektronik)
https://journal.grahamitra.id/index.php/jurikti

Jumlah nilai yang digunakan dalam contoh penerapan secara manual dalam penelitian ini adalah 8 nilai *pixel* citra (8 pixel x 8 bit = 64 bit). Jumlah 64 bit ini memenuhi syarat 1 blok dalam algoritma DDES.

Tabel 7. Nilai *Pixel* Citra yang Digunakan Sebagai Contoh

Index	Decimal	Biner
1	255	11111111
2	216	11011000
3	255	11111111
4	224	11100000
5	0	00000000
6	16	00010000
7	74	01001010
8	70	01000110

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses enkripsi baik enkripsi tahap pertama maupun enkripsi tahap kedua adalah:

1. Melakukan proses *Initial Permutation* (IP) terhadap gabungan biner citra yang menjadi sampel dalam perhitungan ini.

Tabel 8. Tabel IP DES

58	50	42	34	26	18	10	2
60	52	44	36	28	20	12	4
62	54	46	38	30	22	14	6
64	56	48	40	32	24	16	8
57	49	41	33	25	17	9	1
59	51	43	35	27	19	11	3
61	53	45	37	29	21	13	5
63	55	47	39	31	23	15	7

Proses ini sama dengan proses PC-1 pada pembangkitan kunci, yaitu memindahkan posisi bit tertentu berdasarkan nilai-nilai yang ada pada tabel 8 di atas. Misalnya bit ke-58 dipindahkan ke posisi pertama, demikian seterusnya. *String* biner citra asli (*plain image* sejumlah 64 bit/1 blok DDES):
1111111111011000111111111110000000000000000100000100101001000110
Berdasarkan proses pemindahan di atas, maka didapatkan hasil proses *Initial Permutation* (IP) adalah:
IP = 1100111100100111100001010000010100001111000011010100011111000101
String biner IP ini kemudian dibagi menjadi dua kelompok, yaitu 32 bit kiri (menjadi L0) dan 32 bit sisanya (menjadi R0). Nilai kelompok L0 dan R0 ini menjadi inisialisasi awal yang digunakan dalam proses enkripsi tahap pertama sebanyak 16 putaran, sehingga dihasilkan:
L[0] = 11001111001001111000010100000101 = 32 bit
R[0] = 00001111000011010100011111000101 = 32 bit

2. Proses Iterasi dilakukan sebanyak 16 *round* hingga dihasilkan *cipherimage* pada tahap enkripsi pertama ini. Proses iterasi ini juga dilakukan sama pada proses iterasi enrkipsi tahap kedua.

Iterasi ke-0:

a) Langkah awal adalah melakukan ekspansi 32 bit R0 menjadi 48 bit
Proses ekspansi ini dilakukan berdasarkan aturan tabel ekspansi (tabel E) yang telah disediakan oleh algoritma DES. Tujuan proses expansi ini adalah agar jumlah bit R[0] sama dengan jumlah bit kunci eksternal yang digunakan.

Tabel 9. Tabel Ekspansi

32	1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9
8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21
20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29
28	29	30	31	32	1

Proses yang dilakukan pada tahap ekspansi ini adalah memindahkan bit-bit bit pada posisi nilai tabel ekspansi. Misalnya nilai kolom pertama pada tabel ekspansi adalah 32, berarti bit R[0] pada posisi ke 32 dipindahkan menjadi bit pertama, demikian seterusnya. Hasil ekspansi disimpan ke dalam variable E.

Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Dan Informasi
Vol. 2, No. 2, Juli 2024, Hal 74 - 86
ISSN: **2963-0169** (Online - Elektronik)
https://journal.grahamitra.id/index.php/jurikti

R[0] = 00001111000011010100011111000101 = 32 bit
E[0] =1000010111101000010110101010000011111111000001010= 48 bit
Hasil ekspansi (E[0]) di atas di-XOR-kan dengan biner kunci K1[0] :
E[0] = 10000101111010000101101010100000111111000001010
K1[0] = 11010000101011101010111000000000101110001011101 01 XOR
A[0] = 01010101010001101111010010100001100011110111111 1

b) Langkah berikutnya adalah Subtitusi biner hasil Expansi (A[0]) menggunakan tabel S-Box yang telah disediakan oleh algoritma DES.

Tabel 10. Tabel Hasil S-BOX

Kelompok A[0]	Biner Hasil Kelompok	Decimal dari Biner		Hasil S-Box [Decimal]	Biner Hasil S-Box (hasil 4 bit)
		b1,b6 [baris]	b2,b3,b4,b5 [kolom]		
1	010101	1	10	12	1100
2	010100	0	10	2	0010
3	011011	1	13	11	1011
4	110100	2	10	3	0011
5	101000	2	4	10	1010
6	011000	0	12	14	1110
7	111101	3	14	3	0011
8	111111	3	15	11	1011

Gabungkan kembali biner-biner pada kolom hasil S-Box mulai dari kelompok awal sampai akhir, sehingga jumlahnya menjadi 32 bit dan disimpan ke dalam variabel B[0].
B[0] = 11000010101100111010111000111011

c) Langkah selanjutnya adalah proses permutasi nilai B[0]. Langkah ini dilakukan berdasarkan aturan table P-Box

Tabel 11. Tabel P-Box

17	7	20	21	29	12	18	17
1	15	23	26	5	18	31	10
2	8	24	14	32	27	3	9
19	13	30	6	22	11	4	25

Nilai bit B[0] dari hasil proses S-Box akan dipermutasi kembali berdasarkan posisi-posisi pada table P-Box. Misalnya nilai kolom pertama pada table P-Box adalah 17, maka ambil bit B[0] pada posisi ke-17 dan pindahkan menjadi bit pertama. Hasil dari proses Permutasi nilai B[0] adalah :
B[0] = 11000010101100111010111000111011
P-Box[0] = 11011111111000101000110110001100

d) Cari nilai R[selanjutnya] dan L[selanjutnya] dengan melakukan proses XOR antara nilai P-Box[0] dengan nilai L[0] (lihat biner nilai L[0] awal. Hasil XOR antara P-Box[0] dengan L[0] menjadi nilai R [selanjutnya]
P-Box[0] = 11011111111000101000110110001100
L[0] = 11001111001001111000010100000101 XOR
R[1] = 00010000110001010000100010001001
L[selanjutnya] atau L[1] adalah nilai R[sebelumnya], artinya:
L[1] = R[0]
L[1] = 00001111000011010100011111000101
Sampai pada proses iterasi ke-0 ini, maka nilai L[1] dan R[1] telah didapatkan:
L[1] = 00001111000011010100011111000101
R[1] = 00010000110001010000100010001001
Nilai L[1] dan R[1] digunakan pada proses iterasi berikutnya untuk mendapatkan string bit L[2] dan R[2]. Proses yang dilakukan sama seperti yang dilakukan untuk mendapatkan nilai L[1] dan R[1] di atas.

Iterasi ke-1:
Proses yang dilakukan pada iterasi 1 ini pada dasarnya sama seperti proses yang dilakukan pada iterasi ke-0. *String* bit input yang digunakan pada iterasi ke-1 ini adalah hasil nilai L[1] dan R[1] yang telah dihasilkan dari iterasi sebelumnya (iterasi ke-0)
L[1] = 00001111000011010100011111000101
R[1] = 00010000110001010000100010001001
Biner R[1] akan diekspansi menggunakan tabel ekspansi, kemudian hasil ekspansinya di XOR dengan kunci K[1], sehingga hasilnya:
E(R[1]) = 10001010000101100000101010000101000101000101001 0

K1[1] = 111100001010111010100110111111000100101010010001 XOR
A[1] = 011110101011100010101100011110010101111011000011
Biner A[1] disubtitusikan dengan tabel S-Box, sehingga dihasilkan :
B[1] = 011111110110011110011101001011111
Nilai B[1] dipermutasikan menggunakan tabel P-Box, sehingga :
P(B[1]) = 111110010100101111111111000111110
Biner P(B[1]) XOR dengan L[1], sehingga dihasilkan nilai R[2] :
P(B[1]) = 111110010100101111111111000111110
L[1] = 00001111000011010100011111000101 XOR
R[2] = 11110110010001101011100111111011
L[2] = R[1]
L[2] = 00010000110001010000100010001001
Sehingga hasil iterasi ke-1 ini didapatkan nilai biner L[2] dan R[2] :
L[2] = 00010000110001010000100010001001
R[2] = 11110110010001101011100111111011
Nilai L[2] dan R[2] akan digunakan pada iterasi berikutnya untuk mendapatkan *string* biner L[3] dan R[4].

Iterasi ke-2:
L[2] = 00010000110001010000100010001001
R[2] = 11110110010001101011100111111011
Ekspansi R[2] berdasarkan tabel ekspansi, sehingga dihasilkan :
E(R[2]) = 111110101100001000001101010111110011111111110111
K1[2] = 111100001011111000100110000100110110001001011011 XOR
A[2] = 000010100111110000101011010011000101110110101100
Biner A[2] disubtitusikan dengan tabel S-Box, sehingga dihasilkan :
B[2] = 010000011011000100000100100011110
Nilai B[2] dipermutasikan menggunakan tabel P-Box, sehingga :
P(B[2]) = 100011000000001011000001001011101
Biner P(B[2]) XOR dengan L[2], sehingga dihasilkan nilai R[3] :
P(B[2]) = 100011000000001011000001001011101
L[2] = 00010000110001010000100010001001 XOR
R[3] = 10011100110001111100100110100100
L[3] = R[2]
L[3] = 11110110010001101011100111111011
Sehingga hasil iterasi ke-2 ini didapatkan nilai biner L[3] dan R[3] :
L[3] = 11110110010001101011100111111011
R[3] = 10011100110001111100100110100100
Nilai L[3] dan R[3] akan digunakan pada iterasi berikutnya untuk mendapatkan L[4] dan R[4].

Iterasi ke-3:
L[3] = 11110110010001101011100111111011
R[3] = 10011100110001111100100110100100
Ekspansi R[3] berdasarkan tabel ekspansi, sehingga dihasilkan :
E(R[3]) = 010011111001011000001111111001010011110100001001
K1[3] = 111000001011011001110110101101111011000100000000 XOR
A[3] = 101011110010000001110010101001010001100000001001
Biner A[3] disubtitusikan dengan tabel S-Box, sehingga dihasilkan :
B[3] = 100110001101110000110010101010
Nilai B[3] dipermutasikan menggunakan tabel P-Box, sehingga :
P(B[3]) = 001011001010101100010101110000011
Biner P(B[3]) XOR dengan L[3], sehingga dihasilkan nilai R[4] :
P(B[3]) = 001011001010101100010101110000011
L[3] = 11110110010001101011100111111011 XOR
R[4] = 11011010111011011010110000111000
L[4] = R[3]
L[4] = 10011100110001111100100110100100
Sehingga hasil iterasi ke-3 ini didapatkan nilai biner L[4] dan R[4] :
L[4] = 10011100110001111100100110100100
R[4] = 11011010111011011010110000111000
Nilai L[4] dan R[5] akan digunakan pada iterasi berikutnya untuk mendapatkan L[5] dan R[5].

Iterasi ke-4:
L[4] = 10011100110001111100100110100100

R[4] = 11011010111011011010110000111000
Ekspansi R[4] berdasarkan tabel ekspansi, sehingga dihasilkan :
E(R[4]) = 011011110101011101011011110101011000000111110001
K1[4] = 111001001101011001110110101000000010011101100110 XOR
A[4] = 100010111000000100101101011101011010011010010111
Biner A[4] disubtitusikan dengan tabel S-Box, sehingga dihasilkan :
B[4] = 00011001100111011000011110101011
Nilai B[4] dipermutasikan menggunakan tabel P-Box, sehingga :
P(B[4]) = 10001101001010100111110101001011
Biner P(B[4]) XOR dengan L[4], sehingga dihasilkan nilai R[5] :
P(B[4]) = 10001101001010100111110101001011
L[4] = 100111001100011111001001101001 00 XOR
R[5] = 00010001111011011011010011101111
L[5] = R[4]
L[5] = 11011010111011011010110000111000
Sehingga hasil iterasi ke-1 ini didapatkan nilai biner L[5] dan R[5] :
L[5] = 11011010111011011010110000111000
R[5] = 00010001111011011011010011101111
Nilai L[5] dan R[5] akan digunakan pada iterasi berikutnya.
Iterasi ke-5 sampai iterasi ke-15 dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas, sehingga dihasilkan L[15] dan R[15]. Hasil keseluruhan proses enkripsi pertama ini adalah:

Tabel 12. Hasil Keseluruhan *Round* Proses Enkripsi Tahap Pertama

Round	Biner R[i]	Biner L[i]
0	00001111000011010100011111000101	11001111001001111000010100000101
1	00010000110001010000100010001001	00001111000011010100011111000101
2	11110110010001101011100111111011	00010000110001010000100010001001
3	10011100110001111100100110100100	11110110010001101011100111111011
4	11011010111011011010110000111000	10011100110001111100100110100100
5	00010001111011011011010011101111	11011010111011011010110000111000
6	11111100100111010000000101001111	00010001111011011011010011101111
7	01101011100110010000011111100111	11111100100111010000000101001111
8	10110011110101000000110100110001	01101011100110010000011111100111
9	00001010101110001111110011011011	10110011110101000000110100110001
.....	.....	.....
16	01010001110001111111010101011000	11010001001010111110111010111001

Langkah berikutnya adalah menggabungkan *string* biner bagian R[16] dengan L[16], kemudian dilakukan proses *invers initial permutation* (IP^{-1}). Proses IP^{-1} sama dengan proses IP yang dilakukan pada bagian awal.

Tabel 13. Tabel IP^{-1}

40	8	48	16	56	24	64	32
39	7	47	15	55	23	63	31
38	6	46	14	54	22	62	30
37	5	45	13	53	21	61	29
36	4	44	12	52	20	60	28
35	3	43	11	51	19	59	27
34	2	42	10	50	18	58	26
33	1	41	9	49	17	57	25

Gabungan *string* bit R[16] dan L[16] :
01010001110001111111010101011000 11010001001010111110111010111001
Hasil IP^{-1} dari *string* biner R[16] dan L[16] adalah :
11110110001110000001110000101011110001110010111011011101101110011110
String bit hasil IP^{-1} dari proses enkripsi tahap pertama ini terlebih dahulu melalui proses *initial permutation* (IP) berdasarkan tabel IP, sehingga dihasilkan *string* bit R[0] dan L[0] yang menjadi input pada proses enkripsi tahap kedua.
String bit hasil IP^{-1} dari proses enkripsi tahap pertama :
11110110001110000001110000101011110001110010111011011101101110011110
Hasil IP : 01010001110001111111010101011000110100010010101111101110101110011
String bit hasil IP ini dibagi menjadi dua kelompok. Masing-masing 32 bit :
L[0] = 01010001110001111111010101011000

R[0] = 11010001001010111110111010111001
Nilai L[0] dan R[0] inilah yang digunakan pada proses iterasi enkripsi tahap kedua.

Tabel 14. Hasil Iterasi Enkripsi Tahap Kedua

Round	Biner R[i]	Biner L[i]
0	01110010110111101010010011001011	11010001001010111110111010111001
1	11000101010110111001001000110100	01110010110111101010010011001011
2	10100000111000000001100110011110	11000101010110111001001000110100
3	11011011001011011000001010000111	10100000111000000001100110011110
4	00000001011101110100111110101010	11011011001011011000001010000111
5	01101010001110110001100010000110	00000001011101110100111110101010
6	11100101110100001011001011100100	01101010001110110001100010000110
7	11010101100010000101110111001001	11100101110100001011001011100100
8	00010110011111110000101100111110	11010101100010000101110111001001
9	01000001101011100111100001101000	00010110011111110000101100111110
.....	.....	.....
15	01001011011110101111101011011111	11010111110101110100000110000010

String biner R[15] dan L[15] digabungkan, kemudian dilakukan proses IP^{-1}, sehingga dihasilkan string biner :
R[15],L[15] = 01001011011110101111101011011111110101111101011101000011000010
String biner R[15] dan L[15] dipermutasikan berdasarkan tabel IP^{-1} seperti pada proses enkripsi tahap pertama, sehingga dihasilkan biner *cipher* akhir (*cipher* hasil enkripsi tahap kedua) dari citra asli adalah : 11101001111101111010000101010101101101010001010011111110110100111
Biner *cipher* video ini dikelompokkan menjadi 8 bit per kelompok, kemudian dikonversi menjadi nilai *hexadecimal*.

Tabel 15. Hasil Pengelompokkan Biner *Cipher Image*

Index	Biner	Decimal
1	11101001	233
2	11110111	247
3	10100001	161
4	01010101	85
5	10110101	181
6	00010100	20
7	11111101	253
8	10100111	167

c. Proses Dekripsi
Tahap pertama merupakan dekripsi menggunakan kunci kedua (K2) dengan urutan terbaik (dimulai dai kunci ke-15-k-0), sedangkan tahap dekripsi yang kedua menggunakan kunci pertama (K1).
String biner *cipher image*:
11101001111101111010000101010101101101010001010011111110110100111
Dekripsi Tahap Pertama menggunakan kunci kedua (K2) :
2. Lakukan proses IP terhadap *string* biner *cipher image*.
3. Proses iterasi untuk menentukan nilai L[i] dan R[i]

Iterasi ke-0 (i = 0):
Nilai L[i+1] pada iterasi awal ini didapatkan dari nilai R[0], sehingga dihasilkan :
L[i+1] = R[0] atau L[0+1] = R[0], sehingga :
L[1] = 11010111110101110100000110000010
R[0] = 11010111110101110100000110000010
String bit R[0] akan diproses untuk mendapatkan nilai R[i+1].
Proses pencarian *string* bit R[i+1] dilakukan dengan meng-expansi nilai [Ri], menggunakan tabel expansi (tabel 4.9) seperti pada proses enkripsi, kemudian simpan di dalam variabel E. Ekspansi *string* biner R[i] kemudian XOR dengan K2[i], hasilnya disimpan ke dalam variabel E[i]. Urutan kunci K2 yang digunakan dimulai dari index ke-15 hingga index ke-0). Sehingga pada proses ini dihasilkan :
E(R[0]) = 01101010111111101010111010100000001111000000005101
K2[0] = 011100000011111000000100000011111001101101101101 XOR
A[0] = 00011010110000001010101010101111101001110100 0
Subtitusikan *string* bit A[0] ke dalam tabel S-Box DES dan simpan hasilnya ke dalam variabel B, sehingga dihasilkan:
B[0] = 00011101000010111110110110001001
Permutasikan *string* bit B[i], berdasarkan tabel P-Box, sehingga:
P(B[0]) = 10011001010011000110100011011011

Menentukan nilai R[i+1] :
R[i+1] = P(B[i]) XOR L[i-1]
P(B[0]) = 10011001010011000110100011011011
L[0] = 01001011011110101111101011011111 XOR
R[1] = 11010010001101101001001000000100 → dijadikan L[2]

Iterasi ke-1 (i = 1):
L[2] = 11010010001101101001001000000100
R[1] = 11010010001101101001001000000100
Ekspansi R[1] kemudian XOR dengan K[1] :
E(R[1]) = 01101010010000011010110101001010010000000000001001
K2[1] = 00110000001111100000011011111101111010100000010 XOR
A[1] = 01011010011111111010101110110111101101010000 1011
String bit A[1] di S-Box, sehingga dihasilkan :
B[1] = 11000001011100010010000010010011
Permutasikan *string* bit B[1], berdasarkan tabel P-Box, sehingga :
P(B[1]) = 10000110100000111100100010000101
Menentukan nilai R[i+1] :
R[i+1] = P(B[i]) XOR L[i-1]
P(B[1]) = 10000110100000111100100010000101
L[1] = 11010111110101110100000110000010 XOR
R[2] = 01010001010101001000100100000111 → dijadikan L[3]

Iterasi ke-2 (i = 2):
L[3] = 01010001010101001000100100000111
R[2] = 01010001010101001000100100000111
Ekspansi R[2] kemudian XOR dengan K[2] :
E(R[2]) = 10101010001010101010010100010100101000000001110
K2[2] = 10010000101010101000111000101010101001110101 1010 XOR
A[2] = 00111010100000000010011101101111100011110 1010100
String bit A[2] di S-Box, sehingga dihasilkan :
B[2] = 10001010101001101001000100110011
Permutasikan *string* bit B[1], berdasarkan tabel P-Box, sehingga :
P(B[2]) = 01100011110010100011110100000100
Menentukan nilai R[i+1] :
R[i+1] = P(B[i]) XOR L[i-1]
P(B[2]) = 01100011110010100011110100000100
L[1] = 11010010001101101001001000000100 XOR
R[3] = 10110001111111001010111100000000 → dijadikan L[4]

Iterasi ke-3 (i = 3):
L[4] = 10110001111111001010111100000000
R[3] = 10110001111111001010111100000000
Ekspansi R[3] kemudian XOR dengan K[3] :
E(R[3]) = 01011010001111111111100101010101111010000000000 1
K2[3] = 11011001100010001010100011110110111011010100000 1 XOR
A[3] = 10000011101101110101000110100011000010101000000
String bit A[3] di S-Box, sehingga dihasilkan :
B[3] = 01000101111101001010011101011101
Permutasikan *string* bit B[1], berdasarkan tabel P-Box, sehingga :
P(B[3]) = 00001111001100011111100110111100
Menentukan nilai R[i+1] :
R[i+1] = P(B[i]) XOR L[i]
P(B[3]) = 00001111001100011111100110111100
L[3] = 01010001010101001000100100000111 XOR
R[4] = 01011110011001010111000010111011 → dijadikan L[5]

Iterasi ke-4 (i = 4):
L[5] = 01011110011001010111000010111011
R[4] = 01011110011001010111000010111011
Ekspansi R[4] kemudian XOR dengan K[4] :
E(R[4])= 10101111110000110000101010111010000101011111 0110
K2[4] = 01011011000001001010100100011110101000101 1100011 XOR
A[4] = 11110100110001111010001110100100101101 1100010101

String bit A[4] di S-Box, sehingga dihasilkan :
B[4] = 01100011100011110001110001100110
Permutasikan *string* bit B[1], berdasarkan tabel P-Box, sehingga :
P(B[4]) = 11110000010100101101011101101000
Menentukan nilai R[i+1] :
R[i+1] = P(B[i]) XOR L[i]
P(B[4])= 11110000010100101101011101101000
L[4] = 10110001111111001010111100000000 XOR
R[5] = 01000001101011100111100001101000 → dijadikan L[6]
Proses iterasi ke-5 sampai iterasi ke-15, dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas hingga didapatkan nilai L[15] dan R[15]. Hasil L[i] dan R[i] untuk keseluruhan *round* pada tahap enkripsi pertama ini adalah :

Tabel 16. Hasil *Round* Dekripsi Tahap Pertama

Round	L[i]	R[i]
	11010111110101110100000110000010	11010111110101110100000110000010
0	11010010001101101001001000000100	11010010001101101001001000000100
1	01010001010101001000100100000111	01010001010101001000100100000111
2	10110001111111001010111100000000	10110001111111001010111100000000
3	01011110011001010111000010111011	01011110011001010111000010111011
4	01000001101011100111100001101000	01000001101011100111100001101000
5	00010110011111110000101100111110	00010110011111110000101100111110
6	11010101100010000101110111001001	11010101100010000101110111001001
7	11100101110100001011001011100100	11100101110100001011001011100100
8	01101010001110110001100010000110	01101010001110110001100010000110
9	00000001011101110100111110101010	00000001011101110100111110101010
.....	.....	.....
15	01010001110001111111010101011000	11010001001010111110111010111001

String biner R[15] dan L[15] pada tabel di atas digabungkan, kemudian dilakukan proses *invers initial permutation* (IP^{-1}) seperti pada proses enkripsi, sehingga dihasilkan :
R[15] = 01010001110001111111010101011000
L[15] = 11010001001010111110111010111001
String bit hasil penggabungan:
01010001110001111111010101011000110100010010101111101110101110 01
String bit ini akan diproses melalui IP^{-1}, sehingga dihasilkan:
11110110001110000001110000101011110001110010111011011101100111 10
String bit hasil IP^{-1} di atas merupakan hasil akhir dari proses dekripsi tahap pertama. *String* bit ini akan digunakan pada proses dekripsi tahap kedua.

Dekripsi Tahap Kedua menggunakan Kunci K1

Proses dekripsi tahap kedua ini dilakukan seperti proses dekripsi tahap pertama, hanya saja *string* bit kunci yang digunakan adalah kunci K1. Hasil proses dekripsi tahap kedua, disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 17. Hasil *Round* Dekripsi Tahap Kedua

Round	R[i]	L[i]
	11010001001010111110111010111001	11010001001010111110111010111001
0	01100000010011001010000000111101	01100000010011001010000000111101
1	01011111101110001101011010111010	01011111101110001101011010111010
2	01010011010101101011111010111111	01010011010101101011111010111111
3	00111110111111001101101011110101	00111110111111001101101011110101
4	10010111011100100001101111011011	10010111011100100001101111011011
5	00001010101110001111110011011011	00001010101110001111110011011011
6	10110011110101000000110100110001	10110011110101000000110100110001
7	01101011100110010000011111100111	01101011100110010000011111100111
8	11111100100111010000000101001111	11111100100111010000000101001111
.....	.....	.....
15	11001111001001111000010100000101	00001111000011010100011111000101

String biner hasil proses IP^{-1} ini merupakan *string* biner *plainimage* hasil proses dekripsi. *String* biner ini akan dikelompokkan menjadi 8 bit setiap kelompok untuk menghasilkan nilai-nilai *plain image* awal.

Tabel 18. Hasil Dekripsi Tahap Kedua (*PlainImage*)

Biner	Decimal
11111111	255
11011000	216
11111111	255
11100000	224
00000000	0
00010000	16
01001010	74
01000110	70

Nilai-nilai *hexa* pada tabel 17. di atas sama dengan nilai-nilai *hexa* citra asli (*plain image*) sebelum dilakukan proses enkripsi. Nilai-nilai tersebut akan dipetakan kembali menjadi nilai warna *pixel* citra digital, sehingga didapatkan citra digital asli.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan pada pengamanan *file* citra digital maka dapat disimpulkan bahwa Percobaan yang dilakukan penulis berhasil membuktikan bahwa pengamanan *file* citra dapat berjalan dengan baik, sehingga *file* yang bersifat rahasia tidak dapat diketahui oleh siapa pun. Dengan melakukan perubahan dari citra asli menjadi *cipherimage* disebut enkripsi dan proses deskripsi dilakukan dengan cara mengembalikan *cipherimage* menjadi citra asli. Penerapan *algoritma double data encryption standard* dilakukan dengan mengubah nilai *pixel* citra asli menjadi nilai yang baru yang di dalamnya memiliki proses pembangkitan kunci, proses enkripsi dan proses deskripsi. Perancangan aplikasi untuk pengamanan *file* citra menggunakan bahasa *pemrograman visual basic* 2008 agar dapat memudahkan dalam proses enkripsi dan deskripsi *file* citra. Adapun saran dari penulis yang berkaitan dengan teknik pengamanan *file* citra adalah untuk Penggunaan algoritma *double data encryption standard* diharapkan dapat di kembangkan lagi dengan kriptografi lainnya seperti kriptografi simetris, kriptografi klasik, dan lain-lain. Aplikasi pengamanan data ini dapat diimplementasikan di instasi yang memiliki beberapa *file* atau dekumen penting yang harus dijaga. Aplikasi yang dibangun diharapkan mampu dikembangkan dengan bahasa pemrograman lainnya seperti berbasis *website* atau *android*.

REFERENCES

[1] J. A. Sinuhaji, "Implementasi Pengamanan Citra Digital Menggunakan Algoritma ICE," vol. 1, pp. 284–293, 2020, doi: 10.30865/json.v1i3.2138.
[2] Sujarweni, "Bab II Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
[3] A. Shorman and M. Qatawneh, "Performance Improvement of Double Data Encryption Standard Algorithm using Parallel Computation," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 179, no. 25, pp. 1–6, 2018, doi: 10.5120/ijca2018916527.
[4] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Tinjauan Pustaka," pp. 3–15, 2016.
[5] I. W. Sinaga, I. Saputra, and T. Zebua, "Pengamanan Data Nilai Pada Aplikasi E-Raport Berdasarkan Algoritma 2Des," *KOMIK (Konferensi Nas. Teknol. Inf. dan Komputer)*, vol. 3, no. 1, pp. 290–298, 2019, doi: 10.30865/komik.v3i1.1604.
[6] M. Kurniasih, "Bab Ii Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 8–24, 2018.
[7] R. D. Anas, "Identifikasi Nomor Plat Kendaraan Menggunakan Metode Wavelet Haar," pp. 1–21, 2015.
[8] D. A. Wp, "Peningkatan Keamanan Data dengan Metode Cropping Selection Pseudorandom," vol. 4, no. 3, pp. 132–138, 2016.
[9] "Perancangan aplikasi pengamanan citra digital menggunakan java dengan algoritma rijndael.pdf." .
[10] O. K. Sulaiman, M. Ihwani, and S. F. Rizki, "Model Keamanan Informasi Berbasis Tanda Tangan Digital Dengan Data Encryption Standard (Des) Algorithm," *InfoTekJar (Jurnal Nas. Inform. dan Teknol. Jaringan)*, vol. 1, no. 1, pp. 14–19, 2016, doi: 10.30743/infotekjar.v1i1.82.
[11] A. H. Kridalaksana, A. Y. Rangan, and A. Ansharie, "Enkripsi Data Audio Menggunakan Metode Kriptografi Rsa," *Sebatik*, vol. 17, no. 1, pp. 6–10, 2017, doi: 10.46984/sebatik.v17i1.79.
[12] Y. P. Dewi, "Pengembangan Teknik Steganografi Dengan Kriptografi Modifikasi dari Caesar Cipher dan SHA-256 Untuk Merahasiakan Pesan," *J. Comput. Sci. Vis. ...*, vol. 5, pp. 10–21, 2020, [Online]. Available: http://journal.unusida.ac.id/index.php/jik/article/view/129%0Ahttps://journal.unusida.ac.id/index.php/jik/article/download/129/215.