Perancangan Teknik Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta

Anriza Kurnia Aziiz ^{#1}, Magdalena A. Ineke Pakereng^{#2}

[#] ProgdI Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, UKSW Salatiga
Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia

¹anrizakuriizz@gmail.com

²ineke.pakereng@uksw.edu

Abstrak— Kriptografi adalah suatu ilmu untuk menjaga keamanan dan kerahasiaan suatu informasi. Dalam penelitian ini dirancang Kriptografi *Block Cipher* 64 bit Berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta guna membangun kriptografi baru. Dalam kriptografi ini dirancang dengan 10 putaran, dimana setiap putaran terdapat 4 proses. Pada setiap putaran terdapat 4 pola untuk proses plaintext dan 4 pola untuk proses kunci. Di proses kedua dan keempat ditransformasikan dengan tabel S-BOX untuk mendapatkan ciphertext yang lebih acak. Pengujian juga dilakukan menggunakan *Avalanche Effect* dan nilai Korelasi dimana rata-rata perubahan karakter mencapai 47,656%, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam mengamankan data.

Kata kunci— Kriptografi, Block Cipher, S-BOX, Pola Batik Ceplok Yogyakarta, Korelasi, *Avalanche Effect*

I. PENDAHULUAN

Enkripsi secara eksplisit dapat diartikan sebagai suatu proses untuk mengubah pesan (informasi) sehingga tidak dapat dilihat tanpa menggunakan kunci pembuka rahasia. Teknologi ini sudah digunakan sejak lama oleh kalangan militer dan intelejen. Saat ini, teknologi enkripsi dengan beberapa modifikasi sudah diaplikasikan untuk kepentingan umum, dalam aktivitas digital seperti merahasiakan data-data penting milik perusahaan maupun perusahaan. Hasil statistik dari Breach Level Index (BLI) membuktikan, sepanjang 2016 telah terjadi 1.378.509.261 kehilangan atau pencurian data di seluruh dunia, atau sama dengan 3.776.738 data per hari, dan 157,364 per jam. Dari keseluruhan pelanggaran data di 2016 hanya 4 persen pembobolan data dianggap tidak berhasil karena data yang dicuri sudah terlebih dulu di enkripsi oleh perusahaan [1].

Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa keamanan dalam proses pemindahan informasi sangat diperlukan. IT

infrastruktur mulai gencar dalam merancang dan membangun untuk mengamankan informasi. Kriptografi hadir sebagai ilmu untuk menjaga kerahasiaan pesan/mengamankan informasi. Informasi yang dapat dibaca dan dipahami dengan bahasa tertentu diubah ke dalam bentuk sandi tertentu yang berstruktur huruf/kata/kalimat yang susah dipahami dari segi bahasa apapun. Salah satu algoritma nya adalah menggunakan kriptografi *Block Cipher*. *Block Cipher* menggunakan kumpulan bit dengan panjang tetap yang disebut sebagai *block* dan kemudian dioperasikan dengan cipher kunci untuk nantinya ditransformasikan. Seiring kemajuan teknologi, makin banyak pula cara untuk memecahkan algoritma ini. Untuk itu salah satu cara untuk membuat data atau informasi menjadi lebih aman adalah dengan membuat pola atau algoritma baru untuk memodifikasi algoritma yang sudah ada.

Penelitian ini merupakan kriptografi *Block cipher* dengan menggunakan pendekatan pola batik ceplok Yogyakarta. Dari pola-pola tersebut akan dicari korelasi terbaik yang kemudian akan digunakan sebagai proses enkripsi dan dekripsi pesan *plaintext*. Beberapa motif-motif dalam batik ceplok Yogyakarta dijadikan pola pertukaran kode bit di dalamnya. Sehingga keamanan data menjadi lebih kuat dan data dapat digunakan sebagaimana mestinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang berjudul Perancangan Algoritma Transposisi dengan Nilai Indeks Berdasarkan Formasi Bola Basket pada *Block cipher*. Penelitian ini membahas mengenai perancangan algoritma *Block cipher* dengan formasi penyerangan bola basket untuk menghasilkan sebuah pola yang dapat digunakan untuk enkripsi dan dekripsi *plaintext* [2].

Pada penelitian yang berjudul *Perancangan Kriptografi Block cipher Berbasis Pada Anyaman Rambut Papua (ARAP)*. Penelitian ini membahas mengenai analisa korelasi dari pola anyaman rambut papua sehingga menghasilkan pola *block cipher* yang paling optimal untuk digunakan dalam proses enkripsi dan dekripsi [3].

Pada penelitian yang berjudul *Penggunaan Pola Spiral untuk Perancangan P-Box dalam proses Transposisi pada Block cipher 128 Bit*. Penelitian ini membahas perancangan kriptografi *block cipher* dengan menggunakan pola membuang batu kedalam air untuk membentuk gelombang yang menyerupai lingkaran yang berbasis pada *block cipher*. Kemudian dari pola yang terbentuk akan digunakan untuk proses enkripsi dan dekripsi *plaintext* [4].

Pada penelitian yang berjudul *Analisis Permutasi Pola Transposisi dengan Game Sudoku dalam Rancangan Kriptografi Block cipher*. Penelitian ini membahas perancangan pola kriptografi yang disesuaikan dengan teknik pada permainan sudoku 8x8 dimana semua angka dalam satu baris tidak boleh ada yang sama [5].

Pada penelitian yang berjudul *Perancangan Kriptografi Block cipher Menggunakan Pola Kabel UTP Straight dan Cross Over*. Penelitian ini membahas pola kriptografi yang akan digunakan dalam proses enkripsi dan dekripsi *plaintext*. Pola straight dijadikan dalam pertukaran kode bit pada *plaintext* sedangkan pola *cross over* digunakan pertukaran kode bit pada kunci [6].

Pada penelitian yang berjudul *Perancangan Kriptografi Block Cipher 64 Bit Berbasis Pada Pola Formasi Sepak Bola 3-5-2*. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *block cipher* 64 bit dengan menggunakan pola formasi sepak bola 3-5-2. Penggunaan formasi tersebut mempunyai tujuan agar kriptografi ini dapat menunjukkan ciri khas dari sebuah permainan Sepak Bola dalam sebuah team dan pola yang digunakan (Formasi 3-5-2) dipakai dalam proses pengambilan bit sehingga dapat menyembunyikan kerahasiaan data dengan lebih baik [7].

Pada penelitian yang berjudul *Perancangan Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Formasi Futsal 1-2-1*. Dalam penelitian ini membahas tentang sebuah metode kriptografi *Block Cipher* dengan rancangan formasi khusus dalam dunia futsal yang biasa disebut tiga satu dan dapat membuktikan bahwa pola ini dapat menyembunyikan kerahasiaan data dengan sangat baik [8].

Pada penelitian yang berjudul *Pengaruh S-Box Advance Encryption Standard (AES) pada Perubahan Ciphertext terhadap Perancangan Kriptografi Block Cipher 64 Bit Berbasis Pola Huruf U*. Membahas mengenai algoritma kriptografi dengan pendekatan *block cipher* berbasis 64 bit dengan pola huruf U sebagai pola pengambilan bit-bit sebanyak 8 bit. Dimana juga terdapat pengaruh S-Box pada perubahan ciphertext. Pola huruf U digunakan karena dapat memenuhi bit-bit pada blok-blok yang ada yaitu 64 bit serta adanya transposisi pada pola huruf U [9].

Pada penelitian yang berjudul *Designing an algorithm with high Avalanche Effect*. Penelitian ini membahas tentang perancangan kriptografi *block cipher* berbasis 64 bit menggunakan gabungan kriptografi klasik dengan kriptografi moderen untuk peningkatan *Avalanche Effect* [10].

Pada penelitian yang berjudul *Perancangan Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Alat Musik Tifa Papua*. Dalam penelitian ini, membahas mengenai kriptografi simetris yang mengenkripsi satu blok *plaintext* dengan jumlah bit tertentu dan menghasilkan blok *ciphertext* dengan jumlah bit yang sama, sedangkan pola yang digunakan (alat musik tifa Papua) dipakai dalam proses pengambilan bit [11].

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya terkait perancangan kriptografi *block cipher*, maka dilakukan penelitian tentang perancangan kriptografi *Block cipher* dengan memanfaatkan pola batik ceplok Yogyakarta. Dari pola-pola tersebut akan dicari korelasi terbaik yang kemudian akan digunakan sebagai proses enkripsi dan dekripsi pesan *plaintext*.

Skema proses enkripsi dan dekripsi *block cipher* secara umum digambarkan pada Gambar 1 [12].

Gambar. 1 Skema proses enkripsi dan dekripsi pada *block cipher*

Misalkan blok *plaintext* (P) yang berukuran m bit dinyatakan sebagai

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (1)$$

$$\text{Blok ciphertext (C) dinyatakan sebagai} \\ C = (c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (2)$$

$$\text{Kunci (K) dinyatakan sebagai} \\ K = (k_1, k_2, \dots, k_n) \quad (3)$$

$$\text{Sehingga proses enkripsi adalah} \\ EK(P) = C \quad (4)$$

$$\text{Dan proses dekripsi adalah} \\ DK(C) = P \quad (5)$$

Sebuah sistem kriptografi harus memenuhi lima-tupel (five-tuple) (P, C, K, E, D) dengan kondisi [13]:

1. P adalah himpunan berhingga dari *Plaintext*.
2. C adalah himpunan berhingga dari *Ciphertext*.
3. K merupakan ruang kunci (*keyspace*), adalah himpunan berhingga dari kunci.
4. Untuk setiap $k \in K$ terdapat aturan enkripsi $e_k \in E$ dan berkorespondensi dengan aturan dekripsi $d_k \in D$. Setiap $e_k: P \rightarrow C$ dan $d_k: C \rightarrow P$ adalah fungsi sedemikian hingga $d_k(e_k(x)) = x$ untuk setiap *plaintext* $x \in P$.

Dalam pengujian menggunakan korelasi yang merupakan teknik statistik untuk mengukur kekuatan hubungan antar dua variabel dan untuk mengetahui bentuk hubungan antara dua variabel tersebut dengan hasil yang bersifat kuantitatif. Kekuatan hubungan antar dua variabel itu disebut dengan koefisien korelasi. Nilai koefisien akan selalu berada diantara -1 sampai +1. Untuk menentukan kuat atau lemahnya hubungan antara variabel yang diuji, dapat digunakan Tabel 1 [14].

TABEL I
UKURAN HURUF UNTUK TABEL

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Selain itu proses *Block cipher* ini menggunakan operasi XOR dimana output yang dihasilkan dari proses enkripsi akan susah ditebak, karena apabila kita melihat dasar dari XOR seperti berikut :

- $0 \text{ XOR } 0 = 0$
- $0 \text{ XOR } 1 = 1$
- $1 \text{ XOR } 0 = 1$
- $1 \text{ XOR } 1 = 0$

Maka apabila hasil output adalah 0 maka untuk mendapatkan input nya kita tidak tahu, bisa jadi input yang dihasilkan adalah 1 atau 0. Dasar tersebut digunakan untuk melakukan kriptografi *block cipher*.

Kemudian S-BOX (Substitution Box) merupakan salah satu prinsip dalam perancangan blok cipher dimana proses s-box itu sendiri adalah mengganti karakter inputan dengan karakter yang sudah menjadi tetapan pada sebuah tabel. Secara teoritis, S-BOX adalah satu-satunya algoritma yang mempunyai kemampuan untuk membuat hubungan yang tidak linier antara *plaintext* dan *ciphertext*. Maka dari itu, penggunaan S-BOX ditujukan agar membuat kriptografi *block cipher* menjadi lebih acak. Hal ini dilakukan dengan cara mensubstitusikan bilangan *hexadecimal* ke dalam tabel S-BOX dan kemudian kita ambil output dari tabel S-BOX berupa bilangan *hexadecimal* yang baru.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	63	7C	77	7B	F2	6B	6F	C5	30	01	67	2B	FE	D7	AB	76
1	CA	82	C9	7D	FA	59	47	F0	AD	D4	A2	AF	9C	A4	72	C0
2	B7	FD	93	26	36	3F	F7	CC	34	A5	E5	F1	71	D8	31	15
3	04	C7	23	C3	18	96	05	9A	07	12	80	E2	EB	27	B2	75
4	09	83	2C	1A	1B	6E	5A	A0	52	3B	D6	B3	29	E3	2F	84
5	53	D1	00	ED	20	FC	B1	5B	6A	CB	BE	39	4A	4C	58	CF
6	D0	EF	AA	FB	43	4D	33	85	45	F9	02	7F	60	3C	9F	A8
7	51	A3	40	8F	92	9D	38	F5	BC	B6	DA	21	10	FF	F3	D2
8	CD	0C	13	EC	5F	97	44	17	C4	A7	7E	3D	64	5D	19	73
9	60	81	4F	DC	22	2A	90	88	46	EE	B8	14	DE	5E	0B	DB
A	E0	32	3A	0A	49	06	24	5C	C2	D3	AC	62	91	95	E4	79
B	E7	C8	37	6D	8D	D5	4E	A9	6C	56	F4	EA	65	7A	AE	08
C	BA	78	25	2E	1C	A6	B4	C6	E8	DD	74	1F	4B	BD	8B	8A
D	70	3E	B5	66	48	03	F6	0E	61	35	57	B9	86	C1	1D	9E
E	E1	F8	98	11	69	D9	8E	94	9B	1E	87	E9	CE	55	28	DF
F	8C	A1	89	0D	BF	E6	42	68	41	99	2D	0F	B0	54	BB	16

Gambar. 2 Tabel S-BOX

III. METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN ALGORITMA

Secara umum penelitian terbagi ke dalam 4 (empat) tahapan, yaitu: (1) tahap identifikasi masalah, (2) tahap perancangan, (3) tahap implementasi dan analisis hasil, (4) tahap penulisan artikel ilmiah.

Gambar. 3 Tahapan penelitian

Tahapan Penelitian pada Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut; (1) Tahap Identifikasi Masalah: Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap permasalahan yang ada, terkait dengan proses perancangan Kriptografi *Block cipher* Berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta. (2) Tahap Perancangan Kriptografi: Pada tahap ini akan dilakukan perancangan Kriptografi *Block cipher* Berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta dengan menggunakan 4 pola yang telah dibuat dan menggunakan Tabel S-BOX sebagai tambahan agar terbentuk *ciphertext* yang lebih acak. Untuk pembuatan kunci, proses enkripsi dan proses dekripsi dikombinasikan dengan XOR. (3) Tahap Pengujian Kriptografi: Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap kriptografi yang telah dibuat. Pengujian proses 24 kombinasi yang akan menghasilkan nilai korelasi terendah, kemudian dilakukan proses enkripsi dan dekripsi, yang terakhir yaitu mencari *avalanche effect* terbesar. (4) Tahap Penulisan Artikel Ilmiah: Dalam tahap terakhir ini dilakukan penulisan artikel mengenai proses Perancangan Kriptografi *Block cipher* berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta.

Gambar. 4 Alur proses enkripsi

Gambar 4 merupakan alur proses enkripsi. Konsep dari proses enkripsi dapat dijabarkan sebagai berikut: a) Menyiapkan *plaintext*; b) Mengubah *plaintext* menjadi biner sesuai dalam tabel ASCII; c) Dalam proses enkripsi, *plaintext* dan kunci akan melewati empat proses pada setiap putaran, yaitu : 1) Putaran pertama *Plaintext* 1 (P1) melakukan transformasi dengan pola batik ceplok dan di XOR dengan Kunci 1 (K1) menghasilkan *Ciphertext* 1 (C1); 2) *Plaintext* 2 (P2) melakukan transformasi dengan pola batik ceplok dan kemudian *Plaintext* 2 (P2) dilakukan proses S-BOX untuk menghasilkan bilangan biner yang baru, lalu di XOR dengan Kunci 2 (K2) menghasilkan *Ciphertext* 2 (C2), dan tahapan tersebut akan berlanjut sampai proses keempat kemudian *Plaintext* 4 (P4) dilakukan proses S-BOX untuk menghasilkan bilangan biner yang baru, kemudian proses dilanjutkan sehingga menghasilkan *Ciphertext* 4 (C4); 3) *Ciphertext* 4 (4) masuk pada putaran kedua dengan alur proses yang sama dengan putaran pertama, dan tahapan tersebut akan berlanjut sampai putaran ke-10 yang menghasilkan *Ciphertext* Akhir.

Gambar 5 menunjukkan alur proses dekripsi. Konsep proses dekripsi tersebut dijelaskan sebagai berikut: a) Menyiapkan *ciphertext* dan kunci; b) Mengubah *ciphertext* dan kunci menjadi biner sesuai dalam tabel ASCII; c) dalam perancangan dekripsi, *ciphertext* dan kunci akan melewati empat proses pada setiap putaran; d) Proses pertama *Ciphertext* (C) diproses dengan pola batik ceplok dan di XOR dengan Kunci 4 (K4) dari putaran 10, menghasilkan P4; d) P4 tersebut kemudian dilakukan proses S-BOX sehingga menghasilkan biner yang baru yang kemudian menjadi C3 di putaran 10; e) Masuk pada proses dua, C3 diproses dengan pola batik ceplok dan di XOR dengan Kunci 3 (K3) dari putaran 10, menghasilkan P3. P3 akan

menjadi C2 pada putaran selanjutnya; f) Masuk pada proses ketiga, C2 di XOR dengan Kunci 1 (K1) menghasilkan P1 yang kemudian dilakukan proses S-BOX agar menghasilkan bilangan biner yang baru. Bilangan biner yang baru tersebut dimasukkan ke *Plaintext* 1 (P1). P1 akan menjadi C1 pada proses selanjutnya; g) Masuk ke proses keempat, P1 di XOR dengan Kunci 2 (K2) menghasilkan *plaintext* akhir yaitu P1.

Gambar. 5 Alur proses dekripsi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas tentang algoritma perancangan kriptografi *block cipher* berbasis pola batik ceplok Yogyakarta secara lebih rinci. Dalam algoritma ini pola yang terdapat pada contoh batik ceplok Yogyakarta digunakan sebagai proses pemasukan dan pengambilan bit. Pola tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 6 menunjukkan empat pola yang berbeda, dimana pola-pola tersebut menunjukkan pola-pola yang terdapat pada batik ceplok Yogyakarta. Berdasarkan pola-pola yang sudah dirancang, dilakukan pengujian korelasi dengan mengkombinasikan urutan pola untuk menemukan nilai korelasi terbaik. Pengujian dilakukan menggunakan contoh *plaintext* "DIESUKSW" menggunakan kunci "BUDAYAKU".

Berdasarkan hasil pengujian korelasi, maka hasil terkecil yang akan digunakan sebagai acuan perancangan dalam proses enkripsi dan dekripsi.

Gambar. 6 Pola Batik Ceplok Yogyakarta

TABEL III
HASIL KORELASI SETIAP KOMBINASI POLA BATIK CEPLOK
YOGYAKARTA

Pola	Rata-Rata	Pola	Rata-Rata
1-2-3-4	0,203443777	3-1-2-4	0,167138614
1-2-4-3	0,309212605	3-1-4-2	0,068999878
1-3-2-4	0,655646347	3-2-1-4	0,094572274
1-3-4-2	0,340229681	3-2-4-1	0,032662108
1-4-2-3	0,442350815	3-4-1-2	0,099859446
1-4-3-2	0,403175215	3-4-2-1	0,38101642
2-1-3-4	0,016724212	4-1-2-3	0,145015858
2-1-4-3	0,089202026	4-1-3-2	0,336560574
2-3-1-4	0,426891967	4-2-1-3	0,439582513
2-3-4-1	0,240791721	4-2-3-1	0,155924
2-4-1-3	0,157898994	4-3-1-2	0,030187913
2-4-3-1	0,039772404	4-3-2-1	0,12270925

Tabel 2 menunjukkan hasil kombinasi pola dan mendapatkan nilai korelasi terbaik pada kombinasi pola 2-1-3-4. Kombinasi ini lah yang akan digunakan untuk melanjutkan proses enkripsi hingga putaran ke-10 untuk menghasilkan *ciphertext*.

Telah dijelaskan bahwa perancangan kriptografi ini dilakukan sebanyak 10 putaran, dan disetiap putaran memiliki 4 proses untuk mendapatkan hasil akhir yaitu *ciphertext*. Proses pertama *plaintext* dan kunci diubah kedalam bentuk ASCII kemudian diubah lagi kedalam biner. Kemudian bit-bit *plaintext* diproses dengan pola pemasukan dan pengambilan kedalam kolom matriks 8x8 menggunakan bagian dari pola batik yang berbeda-beda pada setiap proses. Kemudian di setiap proses dilakukan X-OR dari *Plaintext* (P) dan kunci (K) menghasilkan *ciphertext* (C) sampai proses keempat di setiap putaran. Kemudian diulang terus sampai putaran ke-10 dan hingga menghasilkan *Ciphertext* akhir.

Untuk menjelaskan secara detail proses pemasukan bit dalam matriks maka diambil proses 1 pada putaran 1 sebagai contoh. Misalkan angka 1 merupakan inisialisasi setiap bit yang merupakan hasil konversi *plaintext* maka urutan bit adalah sebagai berikut 1, 2, 3, 4,64.

Gambar. 7 Pola Pemasukan Kunci

Gambar. 8 Pola Ambil Semua Kunci

Gambar. 9 Pola Pemasukan *Plaintext* dari Pola 1 (P1) Gambar. 10 Pola Ambil *Plaintext* Pola 1 (P1)

Gambar 7 merupakan pola yang digunakan untuk memasukkan kunci kedalam tabel 8x8 dengan urutan sesuai angka pada pola Gambar 7. Gambar 8 digunakan untuk mengambil kunci berupa bit-bit angka dari Gambar 7. Gambar 9 merupakan pola masuk dari pola 1 (P1) yang digunakan untuk memasukkan setiap 8 bit dari karakter *plaintext*. Gambar 10 digunakan untuk mengambil *plaintext* berupa bit-bit angka dari Gambar 9.

Gambar. 11 Pola Pemasukan *Plaintext* dari Pola 2 (P2)

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

Gambar. 12 Pola Ambil *Plaintext* Pola 2 (P2)

Gambar 11 merupakan pola masuk dari pola 2 (P2) yang digunakan untuk memasukkan setiap 8 bit dari karakter *plaintext*. Gambar 12 digunakan untuk mengambil *plaintext* berupa bit-bit angka dari Gambar 11.

Gambar. 13 Pola Pemasukan *Plaintext* dari Pola 3 (P3)

40	3	11	8	2	1	3	5
44	8	43	45	4	41	40	1
43	53	48	41	38	48	42	41
54	55	52	42	41	50	42	43
24	51	23	25	46	24	20	45
29	31	28	21	35	20	22	38
38	38	39	33	31	34	33	31
84	32	83	85	30	81	80	58

Gambar. 14 Pola Ambil *Plaintext* Pola 3 (P3)

Gambar 13 merupakan pola masuk dari pola 3 (P3) yang digunakan untuk memasukkan setiap 8 bit dari karakter *plaintext*. Gambar 14 digunakan untuk mengambil *plaintext* berupa bit-bit angka dari Gambar 14.

Gambar. 15 Pola Pemasukan *Plaintext* dari Pola 4 (P4)

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

Gambar. 16 Pola Ambil *Plaintext* Pola 4 (P4)

Gambar 15 merupakan pola masuk dari pola 4 (P4) yang digunakan untuk memasukkan setiap 8 bit dari karakter *plaintext*. Gambar 16 digunakan untuk mengambil *plaintext* berupa bit-bit angka dari Gambar 15.

Dengan menggunakan pola-pola yang sudah ditetapkan, dilakukan proses enkripsi dan dekripsi yang dilakukan sebanyak 10 putaran dimana setiap putaran terdapat 4 proses. Proses enkripsi dan dekripsi dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 3 berupa algoritma dan *pseudocode* yang menjelaskan lebih detail mengenai algoritma enkripsi dan dekripsi.

TABEL IIIII
ALGORITMA ENKRIPSI DAN DEKRIPSI

No.	Proses Enkripsi	No.	Proses Dekripsi
1.	Masukkan plaintext	1.	Masukkan ciphertext
2.	Plaintext diubah ke DECIMAL	2.	Ciphertext diubah ke DECIMAL
3.	DECIMAL diubah ke BINER	3.	DECIMAL diubah ke BINER
4.	Bit BINER dimasukkan ke kolom matriks 8x8 P2 dengan pola pemasukan plaintext	4.	Bit BINER dimasukkan ke kolom matriks 8x8 C4 dengan pola pemasukan plaintext
5.	Bit pada kolom matrik diambil menggunakan pola pengambilan pola 2	5.	C4 di-XOR dengan K4 menghasilkan P4
6.	Bit pengambilan dimasukkan lagi kedalam matrik mendapatkan hasil akhir P2	6.	P4 diproses dengan pola pemasukan plaintext
7.	P2 dilakukan proses S-BOX.	7.	P4 dilakukan proses S-BOX
8.	P2 di-XOR dengan K2 menghasilkan C1	8.	Hasil proses P4 dimasukkan kedalam matriks 8x8 lagi dengan pola pengambilan pola 4
9.	C1 menjadi P1 untuk proses selanjutnya	9.	P4 menjadi C3 untuk proses selanjutnya
10.	Bit pada kolom matrik diambil menggunakan pola pengambilan pola 1	10.	C3 di-XOR dengan K3 menghasilkan P3
11.	Bit pengambilan dimasukkan lagi kedalam matrik mendapatkan hasil akhir P1	11.	P3 diproses dengan pola pemasukan plaintext
12.	P1 di-XOR dengan K1 menghasilkan C2	12.	Hasil proses P3 dimasukkan kedalam matriks 8x8 lagi dengan pola pengambilan pola 3
13.	C2 menjadi P3 untuk proses selanjutnya	13.	P3 menjadi C2 untuk proses selanjutnya
14.	Bit pada kolom matrik diambil menggunakan pola pengambilan pola 3	14.	C2 di-XOR dengan K1 menghasilkan P1
15.	Bit pengambilan dimasukkan lagi kedalam matrik mendapatkan hasil akhir P3	15.	P1 diproses dengan pola pemasukan plaintext
16.	P3 di-XOR dengan K3 menghasilkan C3	16.	Hasil proses P1 dimasukkan kedalam matriks 8x8 lagi dengan pola pengambilan pola 1
17.	C3 menjadi P4 untuk proses selanjutnya	17.	P1 menjadi C1 untuk proses selanjutnya
18.	Bit pada kolom matrik diambil menggunakan pola pengambilan pola 4	18.	C1 di-XOR dengan K2 menghasilkan P2
19.	Bit pengambilan dimasukkan lagi	19.	P2 diproses dengan pola pemasukan <i>plaintext</i>

No.	Proses Enkripsi	No.	Proses Dekripsi
	kedalam matrik mendapatkan hasil akhir P4		
20.	P4 dilakukan proses S-BOX	20.	P2 dilakukan proses S-BOX
21.	P4 di-XOR dengan K4 menghasilkan C4	21.	Hasil proses P2 dimasukkan kedalam matriks 8x8 lagi dengan pola pengambilan pola 2
22.	C4 diubah ke DECIMAL	22.	P2 diubah ke DECIMAL
23.	DECIMAL diubah ke CHAR untuk mendapatkan <i>Ciphertext</i> akhir.	23.	DECIMAL diubah ke CHAR untuk mendapatkan <i>Plaintext</i> awal.

Dari Tabel 3 dapat kita amati bahwa proses enkripsi menghasilkan *Ciphertext* akhir, dan proses dekripsi menghasilkan *Plaintext* awal. Kemudian algoritma proses kunci, dijelaskan sebagai berikut:

1. Masukkan Kunci
2. Kunci diubah ke DECIMAL
3. DECIMAL ke BINER
4. Bit BINER dimasukkan ke kolom K2 dengan pola memasukan Kunci
5. Bit kunci diambil dengan pola pengambilan Kunci
6. BINER hasil pengambilan dimasukkan kedalam kolom matrik K2
7. $K2 = K1$
8. K1 dimasukkan ke kolom matrik K1 dengan pola memasukan
9. Bit kunci diambil dengan pola pengambilan Kunci
10. BINER hasil pengambilan dimasukkan kedalam kolom matrik K1
11. $K1 = K3$
12. K3 dimasukkan ke kolom matrik K3 dengan pola memasukan
13. Bit kunci diambil dengan pola pengambilan Kunci
14. BINER hasil pengambilan dimasukkan kedalam kolom matrik K3
15. $K3 = K4$
16. K4 dimasukkan ke kolom matrik K4 dengan pola memasukan
17. Bit kunci diambil dengan pola pengambilan Kunci
18. BINER hasil pengambilan dimasukkan kedalam kolom matrik K4

Pseudocode proses enkripsi dan dekripsi dijelaskan pada Tabel 4 berikut.

TABEL IV
PSEUDOCODE PROSES ENKRIPSI DAN DEKRIPSI

Proses Enkripsi	Proses Dekripsi
{Program ini digunakan untuk melakukan proses enkripsi data 64 bit}	{Program ini digunakan untuk melakukan proses dekripsi data 64 bit}
Kamus $P, K, P1, K1, P2, K2, P3, K3, P4, K4, = \text{integer}$	

C, C1, C2, C3, C4 = integer	
<p>Start</p> <p>$C1 \leftarrow P2 \oplus K2$</p> <p>Input P</p> <p>Read P</p> <p>P to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks P, masukkan BINER</p> <p>P menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks P = BINER, ambil bit</p> <p>P dengan Pola Batik Ceplok Yogyakarta</p> <p><i>Plaintext</i> 2 = blok matriks P2</p> <p>Output P1</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 2 = blok matriks K2</p> <p>Output K2</p> <p>Print C1</p> <p>$C2 \leftarrow P1 \oplus K1$</p> <p>Input P</p> <p>Read P</p> <p>P to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks P, masukkan BINER</p> <p>P menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks P = BINER, ambil bit</p> <p>P dengan Pola Batik Ceplok Yogyakarta</p> <p><i>Plaintext</i> 1</p> <p>BINER to HEXA</p> <p>Dari HEXA = Tabel S-Box, masukkan HEXA</p> <p>HEXA substitusi menggunakan S-Box</p> <p>HEXA S-Box to BINER = block matriks P1</p> <p>Output P1</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 1 = blok</p>	<p>Start</p> <p>$P4 \leftarrow C4 \oplus K4$</p> <p>Input C4</p> <p>Read C4</p> <p>C4 to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks C4, masukkan BINER</p> <p>Output C4</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 4 = blok matriks K4</p> <p>Output K4</p> <p>$C4 \oplus K4$</p> <p>Output P4</p> <p>Dari kolom matrik P4 = BINER, ambil bit P4</p> <p>BINER to HEXA</p> <p>Dari HEXA = Tabel S-Box, masukkan HEXA</p> <p>HEXA ditransformasi menggunakan S-Box</p> <p>Dari BINER P4 = kolom matrik P4, masukan BINER</p> <p>gunakan pola pengambilan 4</p> <p>Print P4</p> <p>$P3 \leftarrow C3 \oplus K3$</p> <p>Input C3</p> <p>Read C3</p> <p>C3 to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks C3, masukan BINER</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola memasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 3 = blok matriks K3</p> <p>Output K3</p> <p>$C3 \oplus K3$</p> <p>Print P3</p> <p>$P1 \leftarrow C2 \oplus K1$</p> <p>Input C2</p>

<p>matriks K1</p> <p>Output K1</p> <p>Print C2</p> <p>$C3 \leftarrow P3 \oplus K3$</p> <p>Input P</p> <p>Read P</p> <p>P to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks P, masukkan BINER</p> <p>P menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks P = BINER, ambil bit</p> <p>P dengan Pola Batik Ceplok Yogyakarta</p> <p><i>Plaintext</i> 3 = blok matriks P3</p> <p>Output P3</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 3 = blok matriks K3</p> <p>Output K3</p> <p>Print C3</p> <p>$C4 \leftarrow P4 \oplus K4$</p> <p>Input P</p> <p>Read P</p> <p>P to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks P, masukkan BINER</p> <p>P menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks P = BINER, ambil bit</p> <p>P dengan Pola Batik Ceplok Yogyakarta</p> <p><i>Plaintext</i> 4</p> <p>BINER to HEXA</p> <p>Dari HEXA = Tabel <i>S-Box</i>, masukkan HEXA</p> <p>HEXA substitusi menggunakan <i>S-Box</i></p> <p>HEXA <i>S-Box</i> to BINER = block matriks P4</p> <p>Output P4</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 4 = blok matriks K1</p>	<p>Read C2</p> <p>C2 to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks C2, masukan BINER</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukan BINER</p> <p>K menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 1 = blok matriks K1</p> <p>Output K1</p> <p>$C2 \oplus K1$</p> <p>Output P1</p> <p>Dari kolom matriks P1 = BINER, ambil bit P1</p> <p>BINER to HEXA</p> <p>Dari HEXA = Tabel <i>S-Box</i>, masukan HEXA</p> <p>HEXA ditransformasi menggunakan <i>S-Box</i></p> <p>Dari BINER P1 = kolom matriks P1, masukan BINER</p> <p>menggunakan pola pengambilan 1</p> <p>Print P1</p> <p>$P2 \leftarrow C1 \oplus K2$</p> <p>Input C1</p> <p>Read C1</p> <p>C1 to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks C1, masukan BINER</p> <p>Input K</p> <p>Read K</p> <p>K to ASCII</p> <p>ASCII to BINER</p> <p>Dari BINER = blok matriks K, masukkan BINER</p> <p>K menggunakan Pola pemasukan awal</p> <p>Dari blok matriks K = BINER, ambil bit</p> <p>K dengan Pola Kunci 2 = blok matriks K2</p> <p>Output K2</p> <p>$C1 \oplus K2$</p> <p>Print P2</p> <p>Repeat</p> <p>End</p>
--	--

<p>Output K4</p> <p>Print C4</p> <p>Repeat</p> <p>End</p>	
---	--

Tabel 5 merupakan hasil dari proses S-BOX yang dilakukan pada setiap putaran untuk proses *Plaintext* 2 dan *Plaintext* 4. Proses S-BOX dilakukan agar *Ciphertext* yang dihasilkan pada setiap akhir putaran menjadi lebih acak.

TABEL V
HASIL PERUBAHAN P2 DAN P4 SETIAP PUTARAN SETELAH DILAKUKAN PROSES S-BOX

Putaran	<i>Plaintext</i>	Hexa Sebelum Proses S-BOX	Hexa Sesudah Proses S-BOX
1	P2	980F791F61FD9D31	E2FBAFCBD821752E
	P4	1924A116A105A178	8EA6F1FFF136F1C1
2	P2	A54ACE02534BC35E	295CEC6A50CC339D
	P4	0400F0E1AE1C3D92	305217E0BEC48B74
3	P2	42C0005BCD903F89	F61F5257809625F2
	P4	D3E50A68F909D7C4	A92AA3F769400D88
4	P2	7E6EF976518B6209	8A45690F70CEAB40
	P4	24182CA17D829DA4	A63442F11311751D
5	P2	9B6DDDF5B0853A2FC	E8B3EF57BF501A55
	P4	14B0C23F416AA2A3	9BFCA825F8581A71
6	P2	37D5832E31FAC981	B2B541C32E141291
	P4	47F1228E0D488A97	162B94E6F3D4CF85
7	P2	8BCA42149D025208	CE10F69B756A48BF
	P4	BA108AD113EFEADB	C07CCF518261539F
8	P2	5A3DA79ECA47ABA4	468B89DF10160E1D
	P4	A5AD8B0AD10E0DB3	2918CEA351D7F34B
9	P2	45FB577EB45D236C	6863DA8AC68D32B8
	P4	1549E04521DC5455	2FA4A0687B93FDED
10	P2	B5E15B621C439253	D2E057ABC4647450
	P4	7A6D308623C8E5AD	BDB308DC32B12A18

Hasil dari proses enkripsi di setiap putaran (dengan urutan 1-10) adalah *ciphertext* (C) yang berupa char. Hasil enkripsi di putaran ke 10 adalah *ciphertext* akhir, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL VI
HASIL CIPHERTEXT SETIAP PUTARAN PADA PROSES ENKRIPSI

Putaran	Hasil Hexadesimal	Hasil Char
1	CCF3B5BEA877BA94	İóμ¾~w ⁰⁰
2	720753A1E785C021	rSıç...Ä!
3	EB7FE7B6300146DD	ë• ç¶0FY
4	E4616B04A503E48	äa°JP>H
5	D9A9EC64A1195124	Ü©ıd;Q\$
6	547ED0A7AA9584D0	T~Đ\$*„Đ
7	82298B10DB2018CA	,)Ü Ē
8	6B4D8AE2896B81E	kMŠä-,-
9	6DF1E42922D2B6B8	mñä)"Ö¶
10	FFE64C9D6BF0614D	ÿæ L• kđāM

Hasil dari proses dekripsi di setiap putaran (dengan urutan 10-1) adalah *plaintext* (P) yang berupa char. Hasil dekripsi di putaran ke 1 adalah *plaintext* akhir, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

TABEL VII
HASIL CIPHERTEXT SETIAP PUTARAN PADA PROSES DEKRIPSI

Putaran	Hasil Hexadesimal	Hasil Char
1	44494553554B5357	DIESUKSW
2	CCF3B5BEA877BA94	İóμ¾~w ⁰⁰
3	720753A1E785C021	rSıç...Ä!
4	EB7FE7B6300146DD	ë• ç¶0FY
5	E4616B04A503E48	äa°JP>H
6	D9A9EC64A1195124	Ü©ıd;Q\$
7	547ED0A7AA9584D0	T~Đ\$*„Đ
8	82298B10DB2018CA	,)Ü Ē
9	6B4D8AE2896B81E	kMŠä-,-
10	6DF1E42922D2B6B8	mñä)"Ö¶

Nilai korelasi antara *plaintext* dan *ciphertext* dapat digunakan untuk mengukur seberapa acak hasil enkripsi (*ciphertext*) dengan *plaintext*. Nilai korelasi sendiri berkisar dari 0 sampai 1, dimana jika nilai korelasi mendekati 1 maka *plaintext* dan *ciphertext* memiliki nilai yang sangat berhubungan, tetapi jika mendekati 0 maka *plaintext* dan *ciphertext* tidak memiliki nilai yang berhubungan.

TABEL VIII
NILAI KORELASI SETIAP PUTARAN

Putaran	Nilai Korelasi (absolut)
1	0,350640613
2	0,224026201
3	0,271143398
4	0,199146369
5	0,076104989
6	0,120354667
7	0,042539768
8	0,125496836
9	0,4978222
10	0,39830648

Tabel 8 menunjukkan nilai korelasi antara *plaintext* awal dengan hasil *plaintext* di setiap putaran, dan dapat disimpulkan bahwa algoritma kriptografi *block cipher* berbasis pola batik ceplok Yogyakarta memiliki nilai korelasi lemah dan menghasilkan nilai korelasi yang acak.

Salah satu karakteristik untuk menentukan berhasil atau tidaknya suatu algoritma kriptografi adalah dengan melihat *avalanche effect*-nya. Pengujian dilakukan dengan merubah karakter yang terdapat pada *plaintext* awal, sehingga akan menghasilkan perbedaan pada setiap putarannya. Suatu algoritma kriptografi dikatakan baik jika perubahan bit yang dihasilkan berkisar antara 45-60% (sekitar separuhnya, 50% adalah hasil yang sangat baik). Hal ini dikarenakan perubahan tersebut berarti membuat perbedaan yang cukup sulit untuk kriptanalisis melakukan serangan [15].

A. Pengujian

Gambar. 17 Grafik Perbandingan *Avalanche Effect* Penelitian Terdahulu

Gambar 17 merupakan grafik yang menggambarkan hasil rata-rata nilai *Avalanche Effect* dari penelitian terdahulu. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa penelitian dengan Referensi 11 mempunyai nilai rata-rata 37,500% yang berarti penelitian tersebut tidak termasuk kedalam kategori algoritma yang baik karena diluar dari *range* 45-60%. Sedangkan penelitian lainnya termasuk kedalam algoritma kriptografi yang baik karena termasuk kedalam *range* 45-60%. Bahkan nilai *avalanche effect* untuk Referensi 4, 6, 9, dan 13 termasuk sangat baik karena mendekati angka 50% yang berarti termasuk kategori sangat baik [15].

Gambar 18 adalah hasil dari pengujian *Avalanche Effect* dari Perancangan Teknik Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Batik Ceplok Yogyakarta, pada kasus ini *plaintext* awal adalah "DIESUKSW" yang kemudian diubah menjadi "Anriza21". Terjadi perubahan bit pada setiap putarannya, pada putaran ke-1 dan ke-3 perubahan bitnya terjadi cukup besar yaitu 53,125% dengan arti pada putaran ini terjadi perubahan bit yang baik, tetapi juga terjadi perubahan bit yang kecil pada putaran ke-6 dan ke-7 yaitu sebesar 40,625% ini berarti perubahan bitnya kurang baik. Berdasarkan hasil putaran pertama sampai dengan putaran ke sepuluh dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil pengujian *Avalanche Effect* ini yaitu sebesar 47,656% yang berarti termasuk kategori yang baik [15].

Gambar. 18 Grafik *Avalanche Effect*

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kriptografi *block cipher* 64 bit berbasis pola batik ceplik Yogyakarta dapat dikatakan sebagai sistem kriptografi. Dalam proses enkripsi, rancangan kriptografi *block cipher* berbasis pola batik ceplik Yogyakarta ini menghasilkan output yang acak sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengamanan data. Dalam pengujian *avalanche effect* yang dilakukan pun menunjukkan bahwa proses enkripsi di setiap putaran memiliki rata-rata perubahan yang mencapai 47,656% yang berarti algoritma kriptografi ini berhasil dan termasuk ke dalam kategori yang baik. Walaupun termasuk ke dalam kategori yang baik, penelitian ini masih kurang baik apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang kebanyakan mempunyai nilai rata-rata *avalanche effect* lebih mendekati angka 50% yang berarti algoritma kriptografinya termasuk sangat baik.

REFERENSI

- [1] Berita Satu, "Teknologi Enkripsi, Solusi Terbaik Pengamanan Data," [Online]. Available: <http://www.beritasatu.com/ipitek/426799-teknologi-enkripsi-solusi-terbaik-pengamanan-data.html>. [Accessed 29 November 2018].
- [2] Priyoko, "Perancangan Algoritma Transposisi dengan Nilai Indeks Berdasarkan Formasi Bola Basket pada *Block cipher*," 2016. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/13563>. [Accessed 18 10 2018].

- [3] S. Mamoba, "Perancangan Kriptografi *Block cipher* Berbasis Pada Anyaman Rambut Papua (ARAP)," 19 June 2018. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/11290>. [Accessed 18 10 2018].
- [4] N. D. Ledewara, "Penggunaan Pola Spiral untuk Perancangan P-Box dalam proses Transposisi pada *Block cipher* 128 Bit," 2016. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/13579>. [Accessed 19 10 2018].
- [5] D. P. Mahendra, "Analisis Permutasi Pola Transposisi dengan Game Sudoku dalam Rancangan Kriptografi *Block cipher*," 2016. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/13520>. [Accessed 18 10 2018].
- [6] S. Atiq, "Perancangan Kriptografi *Block cipher* Menggunakan Pola Kabel UTP Straight dan Cross Over," 2016. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/13568>. [Accessed 18 10 2018].
- [7] K. Tryanto, "Perancangan Kriptografi Block Cipher 64 Bit Berbasis Pada Pola Formasi Sepak Bola 3-5-2" 2017. [Online]. Available: <https://repository.uksw.edu/handle/123456789/13500>. [Accessed 19 10 2018].
- [8] Louhenapessy, N.M., Pakereng, M. A. I., 2017, Perancangan Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Formasi Futsal 1-2-1. Salatiga : Jurusan Teknik Informatika Universitas Kristen Satya Wacana.
- [9] Parapat, F. A. C., Pakereng, M. A. I., 2017, Pengaruh S-Box pada Perubahan Ciphertext Terhadap Perancangan Kriptografi Block Cipher 64 Bit Berbasis Pola Huruf U. Salatiga : Jurusan Teknik Informatika Universitas Kristen Satya Wacana.
- [10] Ramanujam, S., Karuppiyah, M. 2011. Designing an algorithm with high Avalanche Effect. IJCSNS International Journal.
- [11] Heipon, Y. A., Pakereng, M. A. I., 2017, Perancangan Kriptografi Block Cipher Berbasis Pola Alat Musik Tifa Papua. Salatiga : Jurusan Teknik Informatika Universitas Kristen Satya Wacana.
- [12] M. R. Kriptografi, Bandung: Informatika, 2006.
- [13] A. J. Leodrian, "Pengaruh Perubahan *Ciphertext* terhadap Perancangan Kriptografi *Block cipher* 64 Bit Berbasis Pola Ikatan Jimbe dengan Menggunakan Kombinasi S-Box," 2016. [Online]. Available: <http://repository.uksw.edu/handle/123456789/13488>. [Accessed 20 10 2018].
- [14] Sugiyono, Metode Penelitian Bisnis: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, dan R&D, Bandung: Alfabeta, 2017.
- [15] Sugiyanto., "Pengembangan Algoritma Advanced Encryption Standard pada Sistem Keamanan SMS Berbasis Android Menggunakan Algoritma Vigenere," *ULTIMATICS*, vol. VIII, no. 02, pp. 135-137, 2016.