

STUDI MENGENAI ALGORITMA SIMETRI CAST-128 DAN APLIKASINYA

oleh

Ade Gunawan 13504049

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
Oktober 2006

Abstrak

Pada era teknologi informasi ini, keamanan (security) dalam pengiriman pesan adalah hal yang sangat penting dan tidak dapat diabaikan. Lebih-lebih jika pesan yang dikirim bersifat penting dan rahasia. Oleh karena itu, proposal ini mengajukan bahasan tentang salah satu algoritma simetri, yaitu CAST-128. Nama CAST adalah singkatan dari Carsisle Adams and Stafford Tavares, penemu dari CAST. Selanjutnya, CAST-128 dimiliki oleh Entrust Technologies.

CAST-128 adalah sebuah algoritma kriptografi yang dikatakan mirip dengan algoritma DES dimana menggunakan enam belas putaran jaringan feistel sebagai salah satu kekuatannya. CAST-128 menggunakan panjang blok 64 bit dan panjang kunci sampai 128 bit. Sebagai informasi, algoritma CAST-128 ini disebut sebagai salah satu algoritma kriptografi yang kuat terhadap berbagai macam kriptanalisis, termasuk *differential* dan *linear attack*. Oleh karena itu, tidak salah jika dikatakan bahwa CAST-128 dapat menjadi kandidat kuat untuk pemakaian enkripsi untuk keamanan komunitas internet. Makalah ini juga akan membahas contoh aplikasi CAST-128, seperti enkripsi data pada telnet.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui secara rinci algoritma CAST-128. Penulis juga akan membahas aplikasinya, contohnya enkripsi data pada telnet. Diharapkan bahasan dapat memberikan informasi penting bagi pembaca. Penulis juga akan menyertakan alasan mengapa algoritma ini tahan terhadap berbagai macam kriptanalisis. Tidak hanya itu, penulis juga berharap informasi yang penulis paparkan dapat digunakan untuk membangun suatu aplikasi sehingga dapat membantu keamanan pengiriman datanya.

Penulis mendapatkan data dari studi literatur, kemudian data tersebut dianalisis untuk mendapatkan suatu simpulan. Simpulan dari penelitian ini adalah Rincian mengenai algoritma simetri CAST-128, contoh aplikasinya, serta alasan ketahanan algoritma ini terhadap berbagai macam kriptanalisis.

1. Pendahuluan

1. 1. Latar Belakang

Keamanan (security) dalam pengiriman pesan adalah hal yang sangat penting dan tidak dapat diabaikan. Lebih-lebih jika pesan yang dikirim bersifat penting dan rahasia. Tentunya baik pengirim dan penerima tidak ingin pesan mereka diketahui atau bahkan diubah oleh orang lain yang tidak berhak. Oleh karena itu, dikembangkanlah kriptografi, yaitu ilmu dan seni untuk menjaga keamanan pesan (message). Jika kunci enkripsi sama dengan kunci dekripsi, maka kriptografinya dinamakan kriptografi kunci-

simetri (symmetric-key cryptography), sedangkan algoritma kriptografinya disebut algoritma simetri atau algoritma konvensional.

Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik dengan salah satu algoritma simetri, yaitu CAST-128. Penulis tidak hanya tertarik pada algoritmanya saja, tapi penulis juga tertarik pada aplikasinya, contohnya enkripsi data pada telnet. Algoritma CAST-128 ini disebut sebagai salah satu algoritma kriptografi yang kuat terhadap berbagai macam kriptanalisis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui secara rinci algoritma CAST-128. Penulis juga akan membahas aplikasinya,

contohnya enkripsi data pada telnet. Diharapkan bahasan dapat memberikan informasi penting bagi pembaca. Penulis juga akan menyertakan alasan mengapa algoritma ini tahan terhadap berbagai macam kriptanalisis. Tidak hanya itu, penulis juga berharap informasi yang penulis paparkan dapat digunakan untuk membangun suatu aplikasi sehingga dapat membantu keamanan pengiriman datanya.

1. 2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang penulis kemukakan adalah:

1. Penjelasan rinci mengenai algoritma simetri CAST-128.
2. Contoh aplikasi dari algoritma simetri CAST-128.
3. Ketahanan algoritma simetri CAST-128 terhadap serangan kriptanalisis.

1. 3. Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah yang dikemukakan, akan penulis kaji hal-hal berikut ini:

1. Penjelasan rinci mengenai algoritma simetri CAST-128 mulai dari proses enkripsi plainteks sampai dekripsi sehingga didapat plainteks yang sama.
2. Contoh aplikasi dari algoritma simetri CAST-128, contohnya telnet.
3. Ketahanan algoritma simetri CAST-128 terhadap berbagai macam serangan kriptanalisis.
4. Penulis tidak sampai membahas perancangan aplikasi dari algoritma simetri CAST-128, tapi diharapkan penjelasan algoritma ini dapat membantu perancangan suatu aplikasi tertentu.

1. 4. Metode dan Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif analitis. Tahap pertama dari deskriptif analitis adalah mendeskripsikan data dan informasi yang diperoleh (dari literatur). Kemudian dari data dan informasi yang diperoleh tersebut, akan penulis analisis sehingga menghasilkan suatu simpulan.

Untuk mendukung metode yang telah penulis kemukakan di atas, teknik pengumpulan data yang penulis gunakan adalah: studi literatur.

2. Landasan Teori

2. 1. Kriptografi

2. 1. 1. Definisi

- Definisi lama: Kriptografi adalah ilmu dan seni untuk menjaga kerahasiaan pesan dengan cara menyandikannya ke dalam bentuk yang tidak dapat dimengerti lagi maksudnya.
- Definisi baru: Kriptografi adalah ilmu sekaligus seni untuk menjaga keamanan pesan (message).

2. 1. 2. Algoritma Kriptografi

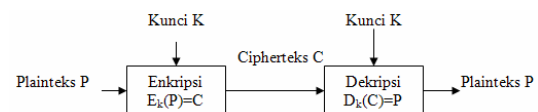
Algoritma kriptografi adalah:

- Aturan untuk mengenkripsi dan mendekripsi.
- Fungsi matematika yang digunakan untuk enkripsi dan dekripsi.

Keterangan:

- Enkripsi: Proses transformasi plainteks menjadi cipherteks.
- Dekripsi: Proses transformasi cipherteks menjadi plainteks.
- Plainteks: Pesan yang dapat dibaca secara langsung.
- Cipherteks: Pesan yang tidak dapat dibaca secara langsung.

Baik proses enkripsi maupun dekripsi membutuhkan sebuah parameter yang disebut kunci. Algoritma kriptografi tidak perlu dirahasiakan, tapi kunci harus dirahasiakan sehingga hanya orang yang berhak saja yang mampu membaca pesan. Skema enkripsi dan dekripsi dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini:

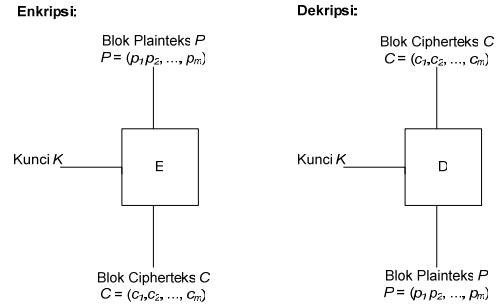


Gambar 1 Skema Enkripsi dan Dekripsi

1. 1. 3. Kriptografi Kunci Simetri / Nirsimetri

Berdasarkan kunci yang digunakan untuk enkripsi dan dekripsi, kriptografi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Kriptografi kunci simetri.
Kriptografi kunci simetri adalah kriptografi yang kunci enkripsinya sama dengan kunci dekripsinya, sedangkan algoritma kriptografinya disebut algoritma simetri atau algoritma konvensional.
2. Kriptografi kunci nirsimetri.
Kriptografi kunci nirsimetri adalah kriptografi yang kunci enkripsinya tidak sama / berbeda dengan kunci dekripsinya, sedangkan algoritmanya kriptografinya disebut algoritma nirsimetri atau algoritma kunci-publik.



Gambar 2 Skema cipher block

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa pada cipher blok, rangkaian bit-bit plainteks dibagi menjadi blok-blok bit dengan panjang sama (m). Enkripsi dilakukan terhadap blok bit plainteks menggunakan bit-bit kunci (yang ukurannya sama dengan blok plainteks). Algoritma enkripsi menghasilkan blok cipherteks yang berukuran sama dengan blok plainteks. Dekripsi dilakukan dengan cara yang serupa seperti enkripsi.

Misalkan blok plainteks (P) yang berukuran m bit dinyatakan sebagai vektor

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$$

yang dalam hal ini p_i adalah bit 0 atau bit 1 untuk $i = 1, 2, \dots, m$, dan blok cipherteks (C) adalah

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$$

yang dalam hal ini c_i adalah bit 0 atau bit 1 untuk $i = 1, 2, \dots, m$.

Bila plainteks dibagi menjadi n buah blok, barisan blok-blok plainteks dinyatakan sebagai

$$(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

Untuk setiap blok plainteks P_i , bit-bit penyusunnya dapat dinyatakan sebagai vektor

$$P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im})$$

Enkripsi dengan kunci K dinyatakan dengan persamaan

$$E_k(P) = C,$$

sedangkan dekripsi dengan kunci K dinyatakan dengan persamaan

$$D_k(C) = P$$

2. 1. 3. Algoritma Kriptografi Modern

Penggunaan komputer digital yang merepresentasikan data dalam bentuk biner mendorong perkembangan algoritma kriptografi modern berbasis bit. Oleh karena itu, algoritma kriptografi modern umumnya beroperasi dalam mode bit daripada mode karakter. Operasi dalam mode bit memungkinkan enkripsi dan dekripsi dalam bentuk rangkaian (*string*) bit biner (0 dan 1).

2. 2. Tipe dan Mode Algoritma Simetri

2. 2. 1. Stream Cipher / Block Cipher

Algoritma simetri berbasis bit dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. *Cipher* aliran (*stream cipher*).
Stream cipher adalah algoritma yang beroperasi pada plainteks/cipherteks dalam bentuk bit tunggal, sehingga rangkaian bit dienkrapsikan / didedripsikan bit per bit.
2. *Cipher* blok (*block cipher*).
Block cipher adalah algoritma beroperasi pada plainteks/cipherteks dalam bentuk blok bit, sehingga rangkaian bit dibagi menjadi blok-blok sama panjang dan dienkrapsikan / didedripsikan blok per blok. Skema *cipher* blok dapat dilihat pada gambar 2.

2. 2. 2. Mode Block Cipher

Beberapa operasi dapat diterapkan untuk melakukan enkripsi terhadap keseluruhan blok plainteks. Empat mode operasi yang lazim digunakan pada system *block cipher* antara lain:

1. *Electronic Code Book* (ECB).
2. *Cipher Block Chaining* (CBC).
3. *Cipher Feedback* (CFB).
4. *Outout-Feedback* (OFB).

2. 2. 3. Electronic Code Book (ECB)

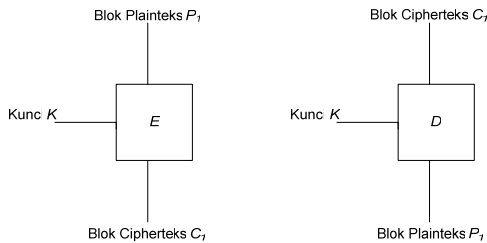
Pada mode ini, masing-masing blok plainteks P_i dienkripsi secara individual dan independen menjadi blok cipherteks C_i . Secara matematis, enkripsi dengan mode *ECB* dinyatakan sebagai:

$$C_i = E_k(P_i) \quad (\text{Enkripsi})$$

dan dekripsi sebagai:

$$P_i = D_k(C_i) \quad (\text{Dekripsi})$$

Dalam hal ini, P_i dan C_i masing-masing blok plainteks dan cipherteks ke- i . Skema enkripsi dan dekripsi dengan mode *ECB* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema Electronic Code Book

2. 2. 4. Cipher Block Chaining (CBC)

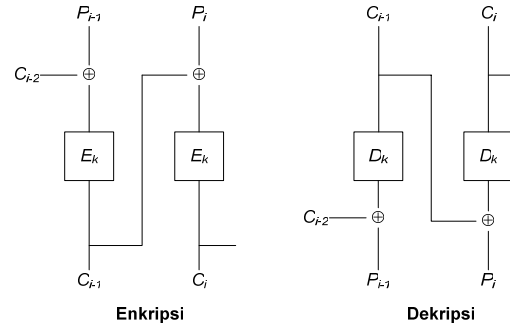
Pada mode ini, hasil enkripsi blok sebelumnya di umpan-balikkan ke dalam enkripsi blok yang sedang di proses (*current*), dengan cara meng-XOR kan terlebih dahulu blok plainteks yang *current* dengan blok cipherteks yang sebelumnya. Setelah itu, hasil peng-XOR-an ini masuk ke dalam fungsi enkripsi. Dekripsi dilakukan dengan memasukkan blok cipherteks yang *current* ke fungsi dekripsi kemudian meng-XOR-kan hasilnya dengan blok cipherteks sebelumnya. Secara matematis, enkripsi dengan mode *CBC* dinyatakan sebagai:

$$C_i = E_k(P_i \oplus C_{i-1}) \quad (\text{Enkripsi})$$

dan dekripsi sebagai:

$$P_i = D_k(C_i) \oplus C_{i-1} \quad (\text{Dekripsi})$$

Dalam hal ini, P_i dan C_i masing-masing blok plainteks dan cipherteks ke- i . Skema enkripsi dan dekripsi dengan mode *CBC* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skema Cipher Block Chaining

Dengan mode *CBC*, setiap blok cipherteks bergantung tidak hanya pada blok plainteksnya, tapi juga pada seluruh blok plainteks sebelumnya.

Hal lain yang penting adalah C_0 yang merupakan *initialization vector* (IV) yang dibangkitkan secara *pseudo-random* (acak semu). IV digunakan untuk menggantikan blok cipherteks ke-0 yang digunakan untuk menghasilkan blok cipherteks pertama (C_1). IV tidak perlu dirahasiakan, tetapi harus unik untuk setiap pesan. Jika IV yang dipakai sama untuk setiap pesan yang berbeda, akan menghasilkan keystream k_i yang sama.

2. 2. 5. Cipher Feedback (CFB)

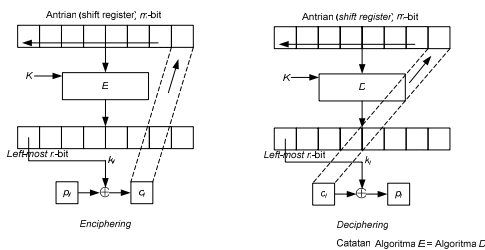
Secara umum, *CFB* n -bit mengenkripsi plainteks sebanyak n bit setiap kalinya, dimana $n \leq m$ (m =ukuran blok). Dengan kata lain, *CFB* mengenkripsikan *cipher* blok seperti pada *cipher* aliran.

Mode *CFB* membutuhkan sebuah antrian (*queue*) yang berukuran sama dengan blok masukan. Tinjau mode *CFB* n -bit yang bekerja pada blok berukuran m -bit. Algoritma enkripsi dengan mode *CFB* adalah sebagai berikut:

1. Antrian diisi dengan *IV* (*initialization vector*).

2. Enkripsikan antrian dengan kunci K . n bit paling kiri dari hasil enkripsi berlaku sebagai *keystream* (k_i) yang kemudian di-*XOR*-kan dengan n -bit dari plainteks menjadi n -bit pertama dari cipherteks. Salinan (*copy*) n -bit dari cipherteks ini dimasukkan ke dalam antrian (menempati n posisi bit paling kanan antrian), dan semua $m-n$ bit lainnya di dalam antrian digeser ke kiri menggantikan n bit pertama yang sudah digunakan.
3. $m-n$ bit plainteks berikutnya dienkripsikan dengan cara yang sama seperti pada langkah 2.
4. Dekripsi dilakukan sebagai kebalikan dari proses enkripsi. Sebagai catatan, baik enkripsi maupun dekripsi, algoritma E dan D yang digunakan sama.

Gambar 5 di bawah ini akan memperjelas proses enkripsi dan dekripsi mode CFB n -bit.



Gambar 5 Mode CFB n -bit

Secara formal, enkripsi mode *CFB* n -bit dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_i = P_i \oplus MSB_m(E_k(X_i))$$

$$X_{i+1} = LSB_{m-n}(X_i) \parallel C_i$$

dan dekripsi sebagai berikut:

$$P_i = C_i \oplus MSB_m(D_k(X_i))$$

$$X_{i+1} = LSB_{m-n}(X_i) \parallel C_i$$

yang dalam hal ini:

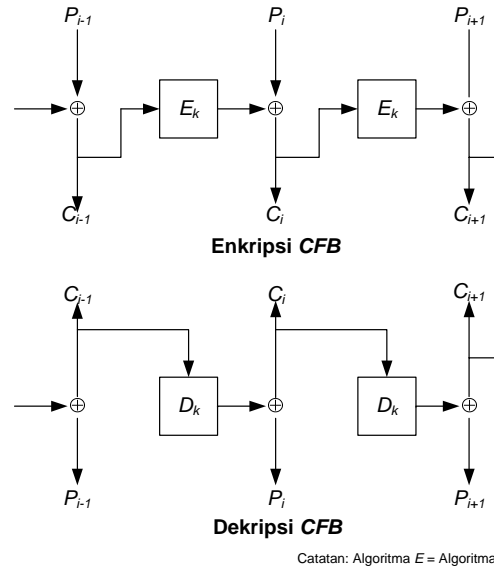
- X_i = isi antrian dengan X_i adalah *IV*
- E = fungsi enkripsi dengan algoritma *cipher* blok
- D = fungsi dekripsi dengan algoritma *cipher* blok
- K = kunci
- m = panjang blok enkripsi/dekripsi
- n = panjang unit enkripsi/dekripsi

\parallel = operator penyambungan
(concatenation)

MSB = *Most Significant Byte*

LSB = *Least Significant Byte*

Jika $m=n$, mode CFB n -bit adalah seperti gambar berikut:



Gambar 6 Skema Cipher Feedback n -bit untuk blok n bit

Seperti pada CBC, CFB juga menggunakan skema umpan-balik dengan mengaitkan blok plainteks bersama-sama sedemikian sehingga cipherteks bergantung pada semua blok plainteks sebelumnya. Namun, CFB memproses dahulu cipherteks sebelumnya dengan fungsi enkripsi, baru setelah itu hasilnya di-*XOR*-kan dengan plainteks yang *current*. Proses dekripsi juga memasukkan cipherteks sebelumnya ke fungsi dekripsi, lalu meng-*XOR*-kan hasilnya dengan cipherteks yang *current*. Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa:

$$C_i = P_i \oplus E_k(C_{i-1}) \quad (\text{Enkripsi})$$

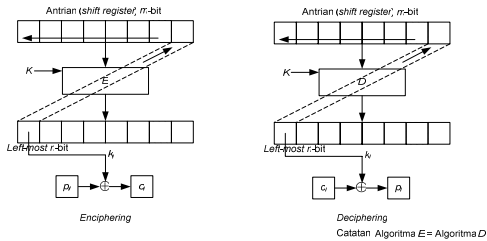
$$P_i = C_i \oplus D_k(C_{i-1}) \quad (\text{Dekripsi})$$

Dalam hal ini, P_i dan C_i masing-masing blok plainteks dan cipherteks ke- i , dan C_0 adalah *initialization vector* (*IV*).

Dengan mode CFB, setiap blok cipherteks bergantung tidak hanya pada blok plainteksnya, tapi juga pada seluruh blok

2. 2. 6. Output-Feedback (OFB)

Mode OFB mirip dengan mode CFB, hanya saja n-bit dari hasil enkripsi terhadap antrian disalin menjadi elemen posisi paling kanan di antrian. Dekripsi dilakukan sebagai kebalikan dari proses enkripsi. Gambar 7 akan memperjelas mode OFB n-bit yang bekerja pada blok berukuran m-bit.



Gambar 7 Mode OFB n-bit

Secara formal, mode OFB n-bit dapat dinyatakan sebagai:

Proses Enkripsi:

$$C_i = P_i \oplus MSB_m(E_k(X_i))$$

$$X_{i+1} = LSB_{m-n}(X_i) \parallel LSB_n(E_k(X_i))$$

Proses Dekripsi:

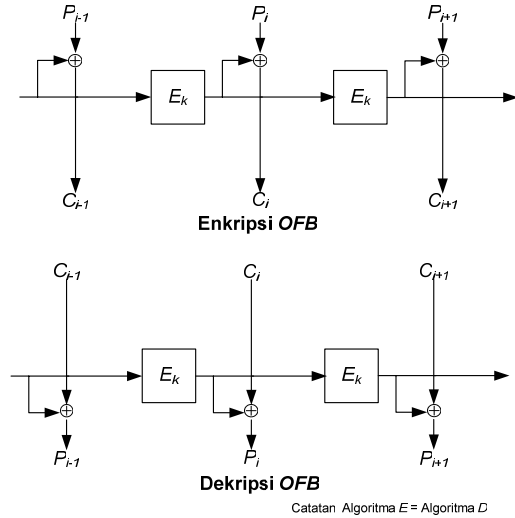
$$P_i = C_i \oplus MSB_m(D_k(X_i))$$

$$X_{i+1} = LSB_{m-n}(X_i) \parallel LSB_n(E_k(X_i))$$

yang dalam hal ini:

- X_i = isi antrian dengan X_i adalah IV
- E = fungsi enkripsi dengan algoritma cipher blok
- D = fungsi dekripsi dengan algoritma cipher blok
- K = kunci
- m = panjang blok enkripsi/dekripsi
- n = panjang unit enkripsi/dekripsi
- \parallel = operator penyambungan (concatenation)
- MSB = Most Significant Byte
- LSB = Least Significant Byte

Jika $m=n$, mode OFB n-bit akan tampak seperti gambar dibawah ini:



Gambar 8 Enkripsi dan Dekripsi OFB n-bit untuk blok n-bit

2. 3 Jaringan Feistel (Feistel Network)

Model jaringan feistel:

1. Bagi blok dengan panjang n bit menjadi dua bagian yang sama, kiri(L), dan kanan(R). Syaratnya, panjang n harus genap sehingga panjang L dan R sama yaitu $n/2$.
2. Definisikan cipher blok berulang dimana hasil dari putaran ke-i ditentukan dari hasil putaran sebelumnya, yaitu:

$$L_i = R_{i-1}$$

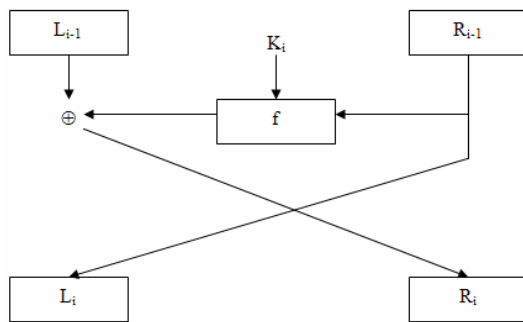
$$R_i = L_{i-1} \oplus f(R_{i-1}, K_i)$$

Dalam hal ini, i adalah bilangan bulat 1..r dimana r adalah jumlah putaran. K_i adalah upa-kunci (subkey) pada putaran ke-i. Sedangkan f adalah fungsi transformasi. Sebagai catatan, gabungan L_0 dan R_0 adalah plainteks, sedangkan cipherteks didapatkan setelah L dan R hasil putaran terakhir dipertukarkan (R_r, L_r).

Jaringan feistel bersifat reversible karena operator XOR mengkombinasikan setengah bagian kiri dengan hasil dari fungsi transformasi f, sehingga:

$$L_{i-1} \oplus f(R_{i-1}, K_i) \oplus f(R_{i-1}, K_i) = L_{i-1}$$

Sifat *reversible* ini tidak bergantung pada f , sehingga tidak perlu membuat algoritma baru untuk mendekripsi cipherteks.



Gambar 9 Skema Jaringan Feistel

2. 4 Kotak-S (S-box)

Kotak-S adalah matriks yang berisi substitusi sederhana yang memetakan satu atau lebih bit dengan satu atau lebih bit lainnya. Pada kebanyakan algoritma cipher blok, kotak-S memetakan m bit masukan menjadi n bit keluaran, sehingga kotak-S tersebut dinamakan kotak $m \times n$ S-box. Kotak-S merupakan satu-satunya langkah nirlanjar di dalam algoritma, karena operasinya adalah *look-up table*. Masukan dari operasi *look-up table* dijadikan sebagai indeks kotak-S dan keluarannya adalah *entry* di dalam kotak-S. Perancangan kotak-S menjadi isu penting karena kotak-S harus dirancang sedemikian sehingga kekuatan kriptografinya bagus dan mudah diimplementasikan.

3. CAST-128

3. 1. Gambaran sederhana algoritma CAST-128

CAST-128 termasuk kelas algoritma enkripsi yang menggunakan jaringan feistel. Secara umum, algoritma ini juga mirip dengan algoritma Data Encryption Standard (DES). Berikut ini langkah-langkah secara garis besar dari fungsi enkripsi dalam algoritma CAST-128:

- Masukan: 1. Plainteks $p1..p64$.
 Blok plainteks sepanjang 64 bit.
 2. Kunci $K=k1..k128$.
 Kunci sepanjang 128 bit.

Keluaran: Cipherteks $c1..c64$.
 Blok cipherteks sepanjang 64 bit.

Langkah-langkah:

1. Penjadwalan kunci:
Menentukan enam belas pasang upakunci (*subkey*) dari masukan pengguna.
2. Bagi blok menjadi dua bagian:
64 bit blok plainteks dibagi menjadi dua bagian yang sama, yaitu bagian kiri dan bagian kanan dengan panjang 32 bit.
3. Enam belas putaran feistel:
Lihat bagian 2. 3 Jaringan Feistel untuk rincian mengenai jaringan tersebut.
4. Konkatensi untuk membentuk cipherteks:
Tukarkan bagian kiri dengan bagian kanan blok di putaran terakhir. Setelah itu, kedua bagian digabungkan menjadi satu dan menjadi cipherteks.

Langkah-langkah dekripsi identik dengan langkah-langkah algoritma enkripsi yang baru saja dibahas. Hanya saja, urutan jadwal kunci yang digunakan pada keenam belas putaran dibalik. Jadi, kunci terakhir akan digunakan pada putaran pertama, dan seterusnya sampai kunci pertama digunakan pada putaran terakhir.

3. 2. Kotak-S (S-box)

CAST-128 menggunakan delapan 8×32 S-box: S-box S1, S2, S3, dan S4 adalah S-box fungsi putaran, sedangkan empat sisanya: S5, S6, S7, dan S8 adalah S-box jadwal kunci. Karena S-box adalah kotak 8×32 , kotak ini akan menerima 8 bit masukan dan mengeluarkan 32 bit keluaran. Kedelapan S-box tersebut dapat dilihat di bagian lampiran.

3. 3. Pembangkitan Kunci Internal

Karena CAST-128 menggunakan enam belas putaran feistel, dimana setiap putarannya, CAST-128 membutuhkan sepasang kunci internal, tentunya dibutuhkan kunci sebanyak 32 buah, yaitu enam belas buah ($Km1..Km16$) dan enam belas buah ($Kr1..Kr16$). Enam belas kunci $Km1..Km16$ digunakan untuk *masking* di setiap putaran, sedangkan $Kr1..Kr16$ digunakan untuk kunci rotasi. Kunci internal ini dibangkitkan dari kunci eksternal yang diberikan oleh pengguna. Jadi, Dari kunci eksternal yang panjangnya 128 bit, dibentuk enam belas pasang kunci internal, yaitu pasangan 32 bit kunci

masking dan 5 bit kunci rotasi. Algoritma pembangkitan kunci internal diberikan dengan asumsi sebagai berikut:

Dimisalkan Kunci eksternal sepanjang 128 bit dibagi menjadi 16 bytes upakunci, yaitu:

$x0x1x2x3x4x5x6x7x8x9xAxBxCxDxExF$,

Dimana $x0$ menunjukkan *most significant byte* (MSB) dan xF menunjukkan *least significant byte* (LSB).

Selain itu, digunakan $z0..zF$ yang merupakan *temporary byte* untuk penyimpanan *byte* sementara.

Digunakan juga $Si[]$ yang merepresentasikan *s-box* ke- i

Sebagai catatan, " \wedge " merepresentasikan operasi XOR.

Algoritma pembangkitan kunci internal diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} z0z1z2z3 &= x0x1x2x3 \wedge S5[xD] \wedge S6[xF] \wedge S7[xC] \wedge S8[xE] \wedge S7[x8] \\ z4z5z6z7 &= x8x9xAxB \wedge S5[z0] \wedge S6[z2] \wedge S7[z1] \wedge S8[z3] \wedge S8[xA] \\ z8z9zAzB &= xCxDxExF \wedge S5[z7] \wedge S6[z6] \wedge S7[z5] \wedge S8[z4] \wedge S5[x9] \\ zCzDzEzF &= x4x5x6x7 \wedge S5[zA] \wedge S6[z9] \wedge S7[zB] \wedge S8[z8] \wedge S6[xB] \\ K1 &= S5[z8] \wedge S6[z9] \wedge S7[z7] \wedge S8[z6] \wedge S5[z2] \\ K2 &= S5[zA] \wedge S6[zB] \wedge S7[z5] \wedge S8[z4] \wedge S6[z6] \\ K3 &= S5[zC] \wedge S6[zD] \wedge S7[z3] \wedge S8[z2] \wedge S7[z9] \\ K4 &= S5[zE] \wedge S6[zF] \wedge S7[z1] \wedge S8[z0] \wedge S8[zC] \\ x0x1x2x3 &= z8z9zAzB \wedge S5[z5] \wedge S6[z7] \wedge S7[z4] \wedge S8[z6] \wedge S7[z0] \\ x4x5x6x7 &= z0z1z2z3 \wedge S5[x0] \wedge S6[x2] \wedge S7[x1] \wedge S8[x3] \wedge S8[z2] \\ x8x9xAxB &= z4z5z6z7 \wedge S5[x7] \wedge S6[x6] \wedge S7[x5] \wedge S8[x4] \wedge S5[z1] \\ xCxDxExF &= zCzDzEzF \wedge S5[xA] \wedge S6[x9] \wedge S7[xB] \wedge S8[x8] \wedge S6[z3] \\ K5 &= S5[x3] \wedge S6[x2] \wedge S7[xC] \wedge S8[xD] \wedge S5[x8] \\ K6 &= S5[x1] \wedge S6[x0] \wedge S7[xE] \wedge S8[xF] \wedge S6[xD] \\ K7 &= S5[x7] \wedge S6[x6] \wedge S7[x8] \wedge S8[x9] \wedge S7[x3] \\ K8 &= S5[x5] \wedge S6[x4] \wedge S7[xA] \wedge S8[xB] \wedge S8[x7] \\ z0z1z2z3 &= x0x1x2x3 \wedge S5[xD] \wedge S6[xF] \wedge S7[xC] \wedge S8[xE] \wedge S7[x8] \\ z4z5z6z7 &= x8x9xAxB \wedge S5[z0] \wedge S6[z2] \wedge S7[z1] \wedge S8[z3] \wedge S8[xA] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z8z9zAzB &= xCxDxExF \wedge S5[z7] \wedge S6[z6] \wedge S7[z5] \wedge S8[z4] \wedge S5[x9] \\ zCzDzEzF &= x4x5x6x7 \wedge S5[zA] \wedge S6[z9] \wedge S7[zB] \wedge S8[z8] \wedge S6[xB] \\ K9 &= S5[z3] \wedge S6[z2] \wedge S7[zC] \wedge S8[zD] \wedge S5[z9] \\ K10 &= S5[z1] \wedge S6[z0] \wedge S7[zE] \wedge S8[zF] \wedge S6[zC] \\ K11 &= S5[z7] \wedge S6[z6] \wedge S7[z8] \wedge S8[z9] \wedge S7[z2] \\ K12 &= S5[z5] \wedge S6[z4] \wedge S7[zA] \wedge S8[zB] \wedge S8[z6] \\ x0x1x2x3 &= z8z9zAzB \wedge S5[z5] \wedge S6[z7] \wedge S7[z4] \wedge S8[z6] \wedge S7[z0] \\ x4x5x6x7 &= z0z1z2z3 \wedge S5[x0] \wedge S6[x2] \wedge S7[x1] \wedge S8[x3] \wedge S8[z2] \\ x8x9xAxB &= z4z5z6z7 \wedge S5[x7] \wedge S6[x6] \wedge S7[x5] \wedge S8[x4] \wedge S5[z1] \\ xCxDxExF &= zCzDzEzF \wedge S5[xA] \wedge S6[x9] \wedge S7[xB] \wedge S8[x8] \wedge S6[z3] \\ K13 &= S5[x8] \wedge S6[x9] \wedge S7[x7] \wedge S8[x6] \wedge S5[x3] \\ K14 &= S5[xA] \wedge S6[xB] \wedge S7[x5] \wedge S8[x4] \wedge S6[x7] \\ K15 &= S5[xC] \wedge S6[xD] \wedge S7[x3] \wedge S8[x2] \wedge S7[x8] \\ K16 &= S5[xE] \wedge S6[xF] \wedge S7[x1] \wedge S8[x0] \wedge S8[xD] \end{aligned}$$

Setengah bagian biasanya identik dengan setengah bagian algoritma si atas dengan meneruskan $x0..xF$ yang terakhir untuk membangkitkan $K17..32$.

$$\begin{aligned} z0z1z2z3 &= x0x1x2x3 \wedge S5[xD] \wedge S6[xF] \wedge S7[xC] \wedge S8[xE] \wedge S7[x8] \\ z4z5z6z7 &= x8x9xAxB \wedge S5[z0] \wedge S6[z2] \wedge S7[z1] \wedge S8[z3] \wedge S8[xA] \\ z8z9zAzB &= xCxDxExF \wedge S5[z7] \wedge S6[z6] \wedge S7[z5] \wedge S8[z4] \wedge S5[x9] \\ zCzDzEzF &= x4x5x6x7 \wedge S5[zA] \wedge S6[z9] \wedge S7[zB] \wedge S8[z8] \wedge S6[xB] \\ K17 &= S5[z8] \wedge S6[z9] \wedge S7[z7] \wedge S8[z6] \wedge S5[z2] \\ K18 &= S5[zA] \wedge S6[zB] \wedge S7[z5] \wedge S8[z4] \wedge S6[z6] \\ K19 &= S5[zC] \wedge S6[zD] \wedge S7[z3] \wedge S8[z2] \wedge S7[z9] \\ K20 &= S5[zE] \wedge S6[zF] \wedge S7[z1] \wedge S8[z0] \wedge S8[zC] \\ x0x1x2x3 &= z8z9zAzB \wedge S5[z5] \wedge S6[z7] \wedge S7[z4] \wedge S8[z6] \wedge S7[z0] \\ x4x5x6x7 &= z0z1z2z3 \wedge S5[x0] \wedge S6[x2] \wedge S7[x1] \wedge S8[x3] \wedge S8[z2] \\ x8x9xAxB &= z4z5z6z7 \wedge S5[x7] \wedge S6[x6] \wedge S7[x5] \wedge S8[x4] \wedge S5[z1] \end{aligned}$$

$x C x D x E x F = z C z D z E z F \wedge S 5 [x A] \wedge S 6 [x 9] \wedge S 7 [x B] \wedge S 8 [x 8] \wedge S 6 [z 3]$
 $K 21 = S 5 [x 3] \wedge S 6 [x 2] \wedge S 7 [x C] \wedge S 8 [x D] \wedge S 5 [x 8]$
 $K 22 = S 5 [x 1] \wedge S 6 [x 0] \wedge S 7 [x E] \wedge S 8 [x F] \wedge S 6 [x D]$
 $K 23 = S 5 [x 7] \wedge S 6 [x 6] \wedge S 7 [x 8] \wedge S 8 [x 9] \wedge S 7 [x 3]$
 $K 24 = S 5 [x 5] \wedge S 6 [x 4] \wedge S 7 [x A] \wedge S 8 [x B] \wedge S 8 [x 7]$
 $z 0 z 1 z 2 z 3 = x 0 x 1 x 2 x 3 \wedge S 5 [x D] \wedge S 6 [x F] \wedge S 7 [x C] \wedge S 8 [x E] \wedge S 7 [x 8]$
 $z 4 z 5 z 6 z 7 = x 8 x 9 x A x B \wedge S 5 [z 0] \wedge S 6 [z 2] \wedge S 7 [z 1] \wedge S 8 [z 3] \wedge S 8 [x A]$
 $z 8 z 9 z A z B = x C x D x E x F \wedge S 5 [z 7] \wedge S 6 [z 6] \wedge S 7 [z 5] \wedge S 8 [z 4] \wedge S 5 [x 9]$
 $z C z D z E z F = x 4 x 5 x 6 x 7 \wedge S 5 [z A] \wedge S 6 [z 9] \wedge S 7 [z B] \wedge S 8 [z 8] \wedge S 6 [x B]$
 $K 25 = S 5 [z 3] \wedge S 6 [z 2] \wedge S 7 [z C] \wedge S 8 [z D] \wedge S 5 [z 9]$
 $K 26 = S 5 [z 1] \wedge S 6 [z 0] \wedge S 7 [z E] \wedge S 8 [z F] \wedge S 6 [z C]$
 $K 27 = S 5 [z 7] \wedge S 6 [z 6] \wedge S 7 [z 8] \wedge S 8 [z 9] \wedge S 7 [z 2]$
 $K 28 = S 5 [z 5] \wedge S 6 [z 4] \wedge S 7 [z A] \wedge S 8 [z B] \wedge S 8 [z 6]$
 $x 0 x 1 x 2 x 3 = z 8 z 9 z A z B \wedge S 5 [z 5] \wedge S 6 [z 7] \wedge S 7 [z 4] \wedge S 8 [z 6] \wedge S 7 [z 0]$
 $x 4 x 5 x 6 x 7 = z 0 z 1 z 2 z 3 \wedge S 5 [x 0] \wedge S 6 [x 2] \wedge S 7 [x 1] \wedge S 8 [x 3] \wedge S 8 [z 2]$
 $x 8 x 9 x A x B = z 4 z 5 z 6 z 7 \wedge S 5 [x 7] \wedge S 6 [x 6] \wedge S 7 [x 5] \wedge S 8 [x 4] \wedge S 5 [z 1]$
 $x C x D x E x F = z C z D z E z F \wedge S 5 [x A] \wedge S 6 [x 9] \wedge S 7 [x B] \wedge S 8 [x 8] \wedge S 6 [z 3]$
 $K 29 = S 5 [x 8] \wedge S 6 [x 9] \wedge S 7 [x 7] \wedge S 8 [x 6] \wedge S 5 [x 3]$
 $K 30 = S 5 [x A] \wedge S 6 [x B] \wedge S 7 [x 5] \wedge S 8 [x 4] \wedge S 6 [x 7]$
 $K 31 = S 5 [x C] \wedge S 6 [x D] \wedge S 7 [x 3] \wedge S 8 [x 2] \wedge S 7 [x 8]$
 $K 32 = S 5 [x E] \wedge S 6 [x F] \wedge S 7 [x 1] \wedge S 8 [x 0] \wedge S 8 [x D]$

Dapat dilihat dari algoritma di atas bahwa. Pembangkitan kunci internal menggunakan operator XOR dan empat buah S-box yaitu S5, S6, S7, dan S8. Dengan algoritma ini didapat K1..K32, dimana penjadwalannya diberikan di bagian selanjutnya.

3.4 Penjadwalan Upakunci

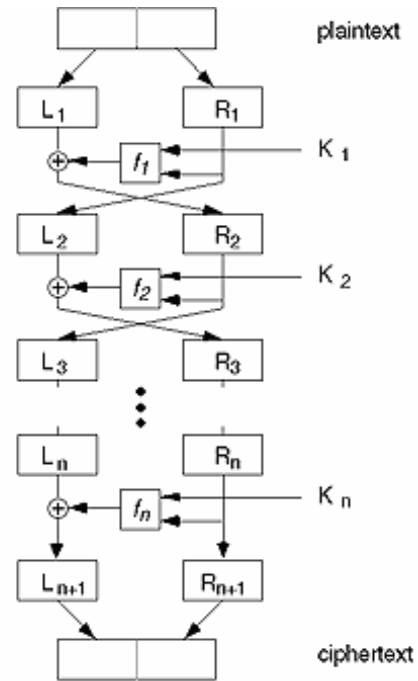
Dari K1..K32 yang dibangkitkan sebelumnya, enam belas kunci pertama akan digunakan untuk kunci *masking* (satu kunci per putaran) dan enam belas sisanya digunakan untuk kunci rotasi (satu

kunci per putaran pula). Untuk kunci rotasi, hanya 5 bit dari *least significant byte* yang digunakan. Algoritma penjadwalan kunci diberikan sebagai berikut:

```

for (i=1; i<=16; i++) {
    Kmi = Ki;
    Kri = K16+i;
}

```

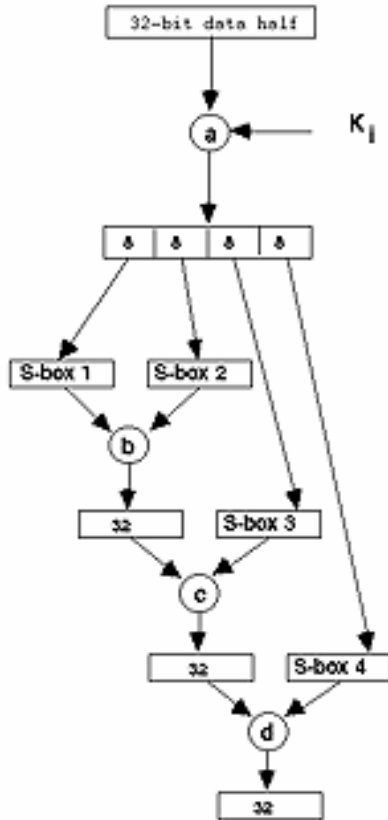


Gambar 10 Putaran Feistel n Putaran

Sesuai gambar 10 di halaman sebelumnya, jika n=16, yang berarti ada enam belas putaran feistel, akan diperlukan enam belas kunci, yaitu K1..K16. Dalam CAST-128 keenam belas kunci tersebut diisi dengan keenambelas pasang kunci yang telah dibangkitkan. Contohnya: K1 adalah sepasang kunci Km1 dan Kr1.

3.5 Fungsi Enkripsi

Dari enam belas putaran feistel yang digunakan, CAST-128 menggunakan tiga jenis putaran yang berbeda. Tiga jenis putaran tersebut dibedakan menurut tiga tipe fungsi enkripsi yang berbeda. Skema fungsi enkripsi yang digunakan diberikan di halaman selanjutnya:



Gambar 11 Fungsi CAST

Gambar tersebut menunjukkan bahwa fungsi enkripsi CAST-128 menerima input 32 bit *data half*, yang didapatkan dari 64 bit blok yang telah dibagi dua pada saat masuk jaringan feistel. Lalu operasi a dilakukan pada 32 bit data masukan ini. Setelah operasi a dilakukan, hasilnya dibagi menjadi empat bagian dengan panjang yang sama (delapan bit). Delapan bit pertama akan menjadi input dari *S-box 1* dan delapan bit kedua akan menjadi input dari *S-box 2*. Ingat bahwa karena *S-box* yang dipakai adalah kotak 8×32 , dari 8 bit masukan akan dihasilkan 32 bit keluaran. Selanjutnya, Hasil dari kedua *S-box* tadi akan digabung dengan menggunakan operasi b. Setelah itu, hasil dari operasi b akan digabung dengan hasil dari *S-box 3* dengan masukan delapan bit ketiga. Operasi yang digunakan kali ini adalah operasi c. Delapan bit terkahir akan menjadi masukan *S-box* keempat dan hasilnya akan digabung dengan hasil operasi c menggunakan operasi d. Hasil yang diperoleh dari seluruh fungsi ini adalah sepanjang 32 bit, sesuai dengan 32 bit masukan. Tiga puluh dua bit hasil ini akan kembali masuk ke putaran feistel.

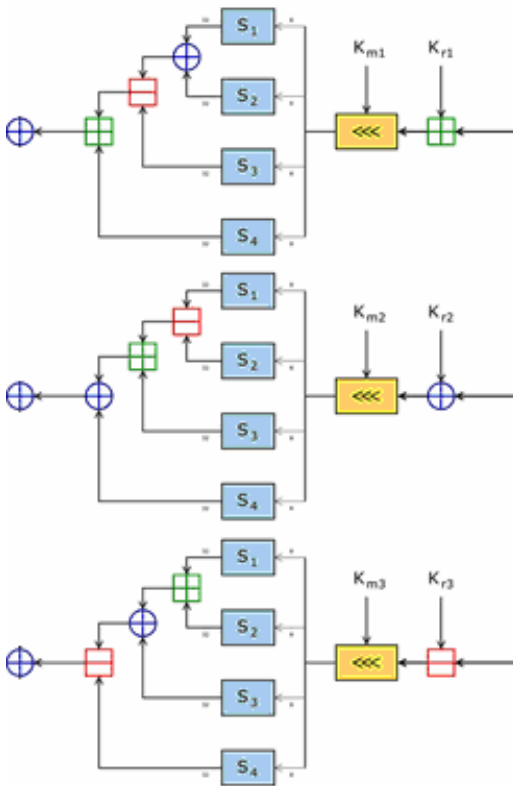
Tentunya, dari penjelasan di atas, yang menjadi pertanyaan adalah apa operasi a, b, c, dan d. Keempat operasi inilah yang berbeda di tiga jenis fungsi CAST.

1. Tipe 1
 - Operasi a adalah penjumlahan bit modulo 2^{32} dan penggeseran bit ke kiri (*circular left-shift operation*). Bit-bit masukan akan ditambahkan dengan K_{mi} (sesuai putaran ke-i) dan akan digeser ke kiri sebanyak K_{ri} (sesuai putaran ke-i pula).
 - Operasi b adalah XOR.
 - Operasi c adalah pengurangan bit modulo 2^{32} .
 - Operasi d adalah penjumlahan bit modulo 2^{32} .
2. Tipe 2
 - Operasi a adalah XOR dan penggeseran bit ke kiri (*circular left-shift operation*). Bit-bit masukan akan di-XOR-kan dengan K_{mi} (sesuai putaran ke-i) dan akan digeser ke kiri sebanyak K_{ri} (sesuai putaran ke-i pula).
 - Operasi b adalah pengurangan bit modulo 2^{32} .
 - Operasi c adalah penjumlahan bit modulo 2^{32} .
 - Operasi d adalah XOR.
3. Tipe 3
 - Operasi a adalah pengurangan bit modulo 2^{32} dan penggeseran bit ke kiri (*circular left-shift operation*). K_{mi} (sesuai putaran ke-i) akan dikurangkan dengan bit-bit masukan dan akan digeser ke kiri sebanyak K_{ri} (sesuai putaran ke-i pula).
 - Operasi b adalah penjumlahan bit modulo 2^{32} .
 - Operasi c adalah XOR.
 - Operasi d adalah pengurangan bit modulo 2^{32} .

Secara matematis ketiga tipe tersebut dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} \text{Type 1: } I &= ((K_{mi} + D) \lll K_{ri}) \\ f &= ((S1[Ia] \wedge S2[Ib]) - S3[Ic]) + S4[Id] \\ \text{Type 2: } I &= ((K_{mi} \wedge D) \lll K_{ri}) \\ f &= ((S1[Ia] - S2[Ib]) + S3[Ic]) \wedge S4[Id] \\ \text{Type 3: } I &= ((K_{mi} - D) \lll K_{ri}) \\ f &= ((S1[Ia] + S2[Ib]) \wedge S3[Ic]) - S4[Id] \end{aligned}$$

Dimana D adalah 32 bit data input, I adalah hasil operasi a terhadap D. I dibagi menjadi empat bagian sepanjang 8 bit la, lb, lc, dan ld terurut mulai dari *most significant byte* (MSB) sampai *least significant byte* (LSB). f adalah hasil fungsi enkripsi. Sebagai catatan, “+” dan “-” adalah penjumlahan dan pengurangan modulo 2^{32} , “^” adalah XOR, dan “<<<” adalah penggeseran bit ke kiri (*circular left-shift operation*). Untuk lebih jelasnya, diberikan gambar 12 dimana empat operasi a, b, c, dan d sudah diganti sesuai tipenya.



Gambar 12 Tiga Fungsi Enkripsi CAST-128

Jadwal pemakaian ketiga tipe fungsi tersebut dalam jaringan feistel diberikan di bawah ini:

- Putaran 1, 4, 7, 10, 13, and 16 menggunakan fungsi tipe 1.
- Putaran 2, 5, 8, 11, and 14 menggunakan fungsi tipe 2.
- Putaran 3, 6, 9, 12, and 15 menggunakan fungsi tipe 3.

3. 6 Panjang Kunci dan Pengaruhnya

Algoritma enkripsi CAST-128 didesain untuk mampu menerima berbagai macam panjang kunci yang berbeda mulai dari 40 bit sampai dengan 128 bit, dimana perbedaan antara nilai tersebut harus dalam kelipatan delapan. Jadi panjang kunci yang valid adalah: 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88, 96, 104, 112, 120, 128 bit. Berdasarkan panjang kunci tersebut, ada perbedaan cara enkripsi pada CAST-128, yaitu:

1. Jika panjang kunci 40 bit sampai dengan 80 bit, algoritma yang digunakan sama persis, hanya saja digunakan hanya dua belas putaran feistel dari enam belas yang seharusnya.
2. Untuk panjang kunci lebih dari 80 bit, digunakan penuh algoritma yang telah diutarakan dengan enam belas putaran.
3. Untuk Kunci kurang dari 128 bit, kunci akan di *padding* dengan bit 0 di bagian kanan atau di bagian *least significant byte* sampai dicapai 128 bit kunci.

4. Keamanan dan Serangan Terhadap CAST-128

4. 1. Prinsip Penyandian Shannon

Dua prinsip penyandian Shannon, *confusion* dan *diffusion*, tercapai dalam algoritma fungsi CAST ini.

Confusion adalah prinsip yang menyembunyikan hubungan apapun yang ada antara plainteks, cipherteks, dan kunci. *Confusion* akan membuat kriptanalisis kesulitan untuk mencari pola-pola statistik yang muncul pada cipherteks, karena *confusion* akan membuat hubungan statistik antara plainteks, cipherteks, dan kunci menjadi sangat rumit. *Confusion* tercapai dalam CAST-128 karena putaran feistel, tiga jenis fungsi enkripsi, dan substitusi oleh *S-box*, membuat hubungan statistik antara plainteks, cipherteks, dan kunci menjadi sangat rumit

Diffusion adalah prinsip menyebarkan pengaruh satu bit plainteks atau kunci ke sebanyak mungkin cipherteks. Sebagai contoh, perubahan kecil pada plainteks sebanyak satu atau dua bit menghasilkan perubahan pada cipherteks yang tidak dapat diprediksi. *Diffusion* juga menyembunyikan hubungan statistik antara plainteks, cipherteks, dan kunci. *Diffusion*

tercapai dalam CAST128 karena memakai delapan buah *S-box* yang mendifusikan plainteks sehingga hubungan statistiknya menjadi sangat rumit.

4. 1. Differential dan Linear Attack

Differential Attack, atau biasa disebut *Chosen-Plaintext Attack*, terjadi saat kriptanalisis memilih plainteks tertentu untuk dienkripsikan, yaitu plainteks-plainteks yang lebih mengarahkan penemuan kunci.

Linear Attack, atau biasa disebut *Known-Plaintext Attack*, terjadi bila kriptanalisis mengetahui beberapa bagian plainteks dari cipherteks. Beberapa bagian tersebut dapat diterka biasanya dari format plainteks. Contohnya: bagian awal pada surat resmi biasanya dimulai dengan kata-kata "Dengan hormat". Dari beberapa bagian cipherteks yang diketahui plainteksnya, dengan perhitungan, dapat dicari kunci dari enkripsinya.

Jumlah putaran yangn banyak pada jaringan feistel menyebabkan serangan ini jauh lebih banyak memakan waku dan biaya daripada *exhaustive key search*. Jumlah bit pada kunci sebanyak 128 bit saja sudah membuat *exhaustive key search* sangat lama dilakukan. Oleh karena itu, *Differential* dan *Linear Attack* akan membutuhkan waktu yang lebih lama lagi. Hanya saja, semakin banyaknya putaran pada jaringan feistel, akan membuat waktu enkripsi dan dekripsi menjadi lebih lama. Pada CAST-128, tambahan waktu ini tidak membuat enkripsi menjadi sangat lama. Bahkan, terbukti bahwa enkripsi CAST jauh lebih cepat daripada DES.

5. Aplikasi CAST-128

Banyak aplikasi yang menggunakan algoritma CAST-128 karena kecepatan dan keamanannya dala mengenkripsi data.

5. 1. Telnet

Telnet menggunakan algoritma enkripsi CAST-128 dengan mode *cipher feedback* (CFB). Panjang kunci yang diperbolehkan hanya 40 bit dan 128 bit. Jika panjang kunci 128 bit, perintah yang digunakan adalah `CAST_40_CFB64`. Sedangkan, jika panjang kunci 128 bit, perintah yang digunakan adalah `CAST128_CFB64`.

Pada pengiriman data dengan menggunakan telnet, pengirim akan membangkitkan dahulu *initialization vector* yang akan digunakan dan mengirimkannya dengan perintah `CFB64_IV`. IV dikirimkan dalam *clear text*. Setelah itu, penerima akan mengirimkan perintah `CFB64_IV_OK` setelah menerima IV. Setelah itu, pengirim harus menegosiasikan keyid dengan perintah `ENC_KEYID`. Setelah itu pengirim memasukkan perintah `START` and `END`. Data akan dienkripsikan menggunakan CAST-128 mode CBF 64 bit.

5. 2. Cryptographic Message Syntax (CMS)

Dalam CMS, CAST-128 adalah salah satu option dari banyak macam pilihan algoritma enkripsi. Dalam hal ini, dapat diterima kunci dengan panjang 40 sampai 128 bit dalam kelipatan delapan. Mode yang direkomendasikan adalah *cipher block chaining* (CBC).

Jika pengguna ingin menggunakan algoritma CAST-128, ia harus perintah yang dia masukkan harus mengandung perintah `cast5CBC` OID. Jiak hal tersebut dipenuhi, pengguna akan dapat mengirimkan data dengan enkripsi yang menggunakan algoritma CAST-128 dengan mode CBC.

5. 1. Encapsulating Security Payload (ESP)

Dalam ESP, CAST-128 dapat menerima masukan kunci dengan panjang 40 sampai 128 bit dalam kelipatan delapan. Akan tetapi, panjang yang direkomendasikan adalah 40, 64, 80, dan 128. Kunci yang kurang dari 128 bit akan dilakukan *padding* dengan bit 0. Mode yang digunakan adalah *cipher block chaining* (CBC). *Initialization vector* harus didefinisikan secara eksplisit dan sebaiknya dipilih secara *pseudo-random*.

Performa dari algoritma enkripsi CAST-128 sangat baik. Kecepatan enkripsinya tiga sampai lima kali lebih cepat daripada implementasi DES, tergantung optimisasi yang dilakukan pada implementasi DES.

6. Hasil dan Analisis Pengujian

6. 1. Waktu Enkripsi

Telah diuji bahwa enkripsi CAST-128 dengan mode CBC pada file dengan besar 40 MB diselesaikan dalam waktu rata-rata kurang lebih dua detik saja. Sebagai catatan, implementasi CAST-128 dalam ECB dan CBC didapatkan dari www.codeproject.com dan enkripsi dilakukan pada computer dengan *processor* Intel Centrino Duo 1,66 GHz. Sebagai perbandingan, pada komputer yang sama dilakukan enkripsi dengan algoritma Triple DES dan waktu enkripsinya adalah empat detik. Selain itu, dengan algoritma AES-128 dibutuhkan waktu lima detik. Ini membuktikan bahwa kecepatan enkripsi CAST-128 sangat cepat.

6. 1. Pengubahan Byte Cipherteks

Telah diuji bahwa pengubahan beberapa *byte* pada cipherteks menyebabkan *byte-byte* lainnya di dalam dekripsi cipherteks menjadi rusak, sehingga isi file menjadi tidak terbaca lagi.

7. Simpulan

1. CAST-128 adalah algoritma kriptografi kunci simetri yang mengenkripsi data per blok dengan panjang 64 bit, dan

2. dengan panjang kunci bervariasi antara 40 sampai 128 dalam kelipatan delapan.
2. CAST-128 menggunakan enam belas putaran jaringan feistel dengan keenam belas pasang kunci yang menjadi input jaringan tersebut dibangkitkan dari kunci masukan pengguna dengan menggunakan empat buah *S-box* terakhir.
3. Ada tiga tipe fungsi enkripsi dalam CAST-128. Walaupun ketiganya memakai empat kotak *S-box* yang sama, setiap tipenya menggunakan urutan operasi penjumlahan, pengurangan, dan XOR yang berbeda.
4. Prinsip *confusion* dan *diffusion* tercapai dalam algoritma CAST-128. Selain itu, CAST-128 juga kuat terhadap serangan *differential* dan *linear attack*.
5. CAST-128 dipakai dalam berbagai aplikasi pengiriman data dikarenakan kecepatan dan keamanannya. Contoh aplikasi: Telnet, CMS, ESP.
6. CAST-128 dapat digunakan dengan mode ECB, CBC, CFB, dan OFB, dimana ECB merupakan mode dengan tingkat keamanan relatif rendah.
7. Kecepatan enkripsi data dengan CAST-128 telah dibuktikan sangat cepat. Dibandingkan dengan algoritma terkenal lainnya seperti: DES, Triple DES, dan AES, CAST-128 adalah algoritma dengan enkripsi data tercepat.

Lampiran

Delapan *S-box* 8 x 32 yang digunakan dalam CAST-128:

S-Box S1

```
30fb40d4 9fa0ff0b 6beccd2f 3f258c7a 1e213f2f 9c004dd3 6003e540 cf9fc949
bfd4af27 88bbbdb5 e2034090 98d09675 6e63a0e0 15c361d2 c2e7661d 22d4ff8e
28683b6f c07fd059 ff2379c8 775f50e2 43c340d3 df2f8656 887ca41a a2d2bd2d
a1c9e0d6 346c4819 61b76d87 22540f2f 2abe32e1 aa54166b 22568e3a a2d341d0
66db40c8 a784392f 004dff2f 2db9d2de 97943fac 4a97c1d8 527644b7 b5f437a7
b82cbaef d751d159 6ff7f0ed 5a097a1f 827b68d0 90ecf52e 22b0c054 bc8e5935
4b6d2f7f 50bb64a2 d2664910 bee5812d b7332290 e93b159f b48ee411 4bfff345d
fd45c240 ad31973f c4f6d02e 55fc8165 d5b1caad a1ac2dae a2d4b76d c19b0c50
882240f2 0c6e4f38 a4e4bfd7 4f5ba272 564c1d2f c59c5319 b949e354 b04669fe
b1b6ab8a c71358dd 6385c545 110f935d 57538ad5 6a390493 e63d37e0 2a54f6b3
3a787d5f 6276a0b5 19a6fcdf 7a42206a 29f9d4d5 f61b1891 bb72275e aa508167
38901091 c6b505eb 84c7cb8c 2ad75a0f 874a1427 a2d1936b 2ad286af aa56d291
d7894360 425c750d 93b39e26 187184c9 6c00b32d 73e2bb14 a0bebc3c 54623779
64459eab 3f328b82 7718cf82 59a2cea6 04ee002e 89fe78e6 3fab0950 325ff6c2
81383f05 6963c5c8 76cb5ad6 d49974c9 ca180dcf 380782d5 c7fa5cf6 8ac31511
35e79e13 47da91d0 f40f9086 a7e2419e 31366241 051ef495 aa573b04 4a805d8d
548300d0 00322a3c bf64cddf ba57a68e 75c6372b 50afd341 a7c13275 915a0bf5
6b54bfab 2b0b1426 ab4cc9d7 449ccd82 f7fbf265 ab85c5f3 1b55db94 aad4e324
```

cfa4bd3f 2deaa3e2 9e204d02 c8bd25ac eadf55b3 d5bd9e98 e31231b2 2ad5ad6c
954329de adbe4528 d8710f69 aa51c90f aa786bf6 22513f1e aa51a79b 2ad344cc
7b5a41f0 d37cfbad 1b069505 41ece491 b4c332e6 032268d4 c9600acc ce387e6d
bf6bb16c 6a70fb78 0d03d9c9 d4df39de e01063da 4736f464 5ad328d8 b347cc96
75bb0fc3 98511bfb 4ffbcc35 b58bcf6a e11f0abc bfc5fe4a a70aec10 ac39570a
3f04442f 6188b153 e0397a2e 5727cb79 9ceb418f 1cacd68d 2ad37c96 0175cb9d
c69dff09 c75b65f0 d9db40d8 ec0e7779 4744ead4 b11c3274 dd24cb9e 7e1c54bd
f01144f9 d2240eb1 9675b3fd a3ac3755 d47c27af 51c85f4d 56907596 a5bb15e6
580304f0 ca042cf1 011a37ea 8dbfaadb 35ba3e4a 3526ffa0 c37b4d09 bc306ed9
98a52666 5648f725 ff5e569d 0ced63d0 7c63b2cf 700b45e1 d5ea50f1 85a92872
af1fbda7 d4234870 a7870bf3 2d3b4d79 42e04198 0cd0ede7 26470db8 f881814c
474d6ad7 7c0c5e5c d1231959 381b7298 f5d2f4db ab838653 6e2f1e23 83719c9e
bd91e046 9a56456e dc39200c 20c8c571 962bda1c e1e696ff b141ab08 7cca89b9
1a69e783 02cc4843 a2f7c579 429ef47d 427b169c 5ac9f049 dd8f0f00 5c8165bf

S-Box S2

1f201094 ef0ba75b 69e3cf7e 393f4380 fe61cf7a eec5207a 55889c94 72fc0651
ada7ef79 4e1d7235 d55a63ce de0436ba 99c430ef 5f0c0794 18dcdb7d a1d6eff3
a0b52f7b 59e83605 ee15b094 e9ffd909 dc440086 ef944459 ba83ccb3 e0c3cdfb
d1da4181 3b092ab1 f997f1c1 a5e6cf7b 01420ddb e4e7ef5b 25a1ff41 e180f806
1fc41080 179bee7a d37ac6a9 fe5830a4 98de8b7f 77e83f4e 79929269 24fa9f7b
e113c85b acc40083 d7503525 f7ea615f 62143154 0d554b63 5d681121 c866c359
3d63cf73 cee234c0 d4d87e87 5c672b21 071f6181 39f7627f 361e3084 e4eb573b
602f64a4 d63acd9c 1bbc4635 9e81032d 2701f50c 99847ab4 a0e3df79 ba6cf38c
10843094 2537a95e f46f6ffe a1ff3b1f 208cfb6a 8f458c74 d9e0a227 4ec73a34
fc884f69 3e4de8df ef0e0088 3559648d 8a45388c 1d804366 721d9bfd a58684bb
e8256333 844e8212 128d8098 fed33fb4 ce280ae1 27e19ba5 d5a6c252 e49754bd
c5d655dd eb667064 77840b4d a1b6a801 84db26a9 e0b56714 21f043b7 e5d05860
54f03084 066ff472 a31aa153 dadc4755 b5625dbf 68561be6 83ca6b94 2d6ed23b
eccf01db a6d3d0ba b6803d5c af77a709 33b4a34c 397bc8d6 5ee22b95 5f0e5304
81ed6f61 20e74364 b45e1378 de18639b 881ca122 b96726d1 8049a7e8 22b7da7b
5e552d25 5272d237 79d2951c c60d894c 488cb402 1ba4fe5b a4b09f6b 1ca815cf
a20c3005 8871df63 b9de2fcb 0cc6c9e9 0beeff53 e3214517 b4542835 9f63293c
ee41e729 6e1d2d7c 50045286 1e6685f3 f33401c6 30a22c95 31a70850 60930f13
73f98417 a1269859 ec645c44 52c877a9 cdff33a6 a02b1741 7cbad9a2 2180036f
50d99c08 cb3f4861 c26bd765 64a3f6ab 80342676 25a75e7b e4e6d1fc 20c710e6
cdf0b680 17844d3b 31eef84d 7e0824e4 2ccb49eb 846a3bae 8ff77888 ee5d60f6
7af75673 2fdd5cdb a11631c1 30f66f43 b3faec54 157fd7fa ef8579cc d152de58
db2ffd5e 8f32ce19 306af97a 02f03ef8 99319ad5 c242fa0f a7e3ebb0 c68e4906
b8da230c 80823028 dcdef3c8 d35fb171 088a1bc8 bec0c560 61a3c9e8 bca8f54d
c72feffa 22822e99 82c570b4 d8d94e89 8b1c34bc 301e16e6 273be979 b0ffea6
61d9b8c6 00b24869 b7ffce3f 08dc283b 43daf65a f7e19798 7619b72f 8f1c9ba4
dc8637a0 16a7d3b1 9fc393b7 a7136eeb c6bcc63e 1a513742 ef6828bc 520365d6
2d6a77ab 3527ed4b 821fd216 095c6e2e db92f2fb 5eea29cb 145892f5 91584f7f
5483697b 2667a8cc 85196048 8c4bacea 833860d4 0d23e0f9 6c387e8a 0ae6d249
b284600c d835731d dcb1c647 ac4c56ea 3ebd81b3 230eabb0 6438bc87 f0b5b1fa
8f5ea2b3 fc184642 0a036b7a 4fb089bd 649da589 a345415e 5c038323 3e5d3bb9
43d79572 7e6dd07c 06dfdf1e 6c6cc4ef 7160a539 73bfbe70 83877605 4523ecf1

S-Box S3

8defc240 25fa5d9f eb903dbf e810c907 47607fff 369fe44b 8c1fc644 aececa90
beb1f9bf eefbcaea e8cf1950 51df07ae 920e8806 f0ad0548 e13c8d83 927010d5
11107d9f 07647db9 b2e3e4d4 3d4f285e b9afa820 fade82e0 a067268b 8272792e
553fb2c0 489ae22b d4ef9794 125e3fbc 21fffcee 825b1bfd 9255c5ed 1257a240
4e1a8302 bae07fff 528246e7 8e57140e 3373f7bf 8c9f8188 a6fc4ee8 c982b5a5
a8c01db7 579fc264 67094f31 f2bd3f5f 40fff7c1 1fb78dfc 8e6bd2c1 437be59b
99b03dbf b5dbc64b 638dc0e6 55819d99 a197c81c 4a012d6e c5884a28 ccc36f71

b843c213 6c0743f1 8309893c 0fedddd5f 2f7fe850 d7c07f7e 02507fbf 5afb9a04
a747d2d0 1651192e af70bf3e 58c31380 5f98302e 727cc3c4 0a0fb402 0f7fef82
8c96fdad 5d2c2aae 8ee99a49 50da88b8 8427f4a0 1eac5790 796fb449 8252dc15
efbd7d9b a672597d ada840d8 45f54504 fa5d7403 e83ec305 4f91751a 925669c2
23efe941 a903f12e 60270df2 0276e4b6 94fd6574 927985b2 8276dbcb 02778176
f8af918d 4e48f79e 8f616ddf e29d840e 842f7d83 340ce5c8 96bbb682 93b4b148
ef303cab 984faf28 779faf9b 92dc560d 224d1e20 8437aa88 7d29dc96 2756d3dc
8b907cee b51fd240 e7c07ce3 e566b4a1 c3e9615e 3cf8209d 6094d1e3 cd9ca341
5c76460e 00ea983b d4d67881 fd47572c f76cedd9 bda8229c 127dadaa 438a074e
1f97c090 081bdb8a 93a07ebe b938ca15 97b03cff 3dc2c0f8 8d1ab2ec 64380e51
68cc7bfb d90f2788 12490181 5de5ffd4 dd7ef86a 76a2e214 b9a40368 925d958f
4b39fffa ba39aee9 a4ffd30b faf7933b 6d498623 193cbcfa 27627545 825cf47a
61bd8ba0 d11e42d1 cead04f4 127ea392 10428db7 8272a972 9270c4a8 127de50b
285ba1c8 3c62f44f 35c0eaa5 e805d231 428929fb b4fcd82 4fb66a53 0e7dc15b
1f081fab 108618ae fcf086d f9ff2889 694bcc11 236a5cae 12deca4d 2c3f8cc5
d2d02dfe f8ef5896 e4cf52da 95155b67 494a488c b9b6a80c 5c8f82bc 89d36b45
3a609437 ec00c9a9 44715253 0a874b49 d773bc40 7c34671c 02717ef6 4feb5536
a2d02fff d2bf60c4 d43f03c0 50b4ef6d 07478cd1 006e1888 a2e53f55 b9e6d4bc
a2048016 97573833 d7207d67 de0f8f3d 72f87b33 abcc4f33 7688c55d 7b00a6b0
947b0001 570075d2 f9bb88f8 8942019e 4264a5ff 856302e0 72dbd92b ee971b69
6ea22fde 5f08ae2b af7a616d e5c98767 cf1febd2 61efc8c2 flac2571 cc8239c2
67214cb8 b1e583d1 b7dc3e62 7f10bdce f90a5c38 0ff0443d 606e6dc6 60543a49
5727c148 2be98a1d 8ab41738 20e1be24 af96da0f 68458425 99833be5 600d457d
282f9350 8334b362 d91d1120 2b6d8da0 642b1e31 9c305a00 52bce688 1b03588a
f7baefd5 4142ed9c a4315c11 83323ec5 dfef4636 a133c501 e9d3531c ee353783

S-Box S4

9db30420 1fb6e9de a7be7bef d273a298 4a4f7bdb 64ad8c57 85510443 fa020ed1
7e287aff e60fb663 095f35a1 79ebf120 fd059d43 6497b7b1 f3641f63 241e4adf
28147f5f 4fa2b8cd c9430040 0cc32220 fdd30b30 c0a5374f 1d2d00d9 24147b15
ee4d111a 0fca5167 71ff904c 2d195ffe 1a05645f 0c13fefe 081b08ca 05170121
80530100 e83e5efe ac9af4f8 7fe72701 d2b8ee5f 06df4261 bb9e9b8a 7293ea25
ce84ffdf f5718801 3dd64b04 a26f263b 7ed48400 547eebe6 446d4ca0 6cf3d6f5
2649abdf aea0c7f5 36338cc1 503f7e93 d3772061 11b638e1 72500e03 f80eb2bb
abe0502e ec8d77de 57971e81 e14f6746 c9335400 6920318f 081dbb99 ffc304a5
4d351805 7f3d5ce3 a6c866c6 5d5bcc9 daec6fea 9f926f91 9f46222f 3991467d
a5bf6d8e 1143c44f 43958302 d0214eeb 022083b8 3fb6180c 18f8931e 281658e6
26486e3e 8bd78a70 7477e4c1 b506e07c f32d0a25 79098b02 e4eabb81 28123b23
69dead38 1574ca16 df871b62 211c40b7 a51a9ef9 0014377b 041e8ac8 09114003
bd59e4d2 e3d156d5 4fe876d5 2f91a340 557be8de 00eae4a7 0ce5c2ec 4db4bba6
e756bdfc dd3369ac ec17b035 06572327 99afc8b0 56c8c391 6b65811c 5e146119
6e85cb75 be07c002 c2325577 893fff4ec 5bbfc92d d0ec3b25 b7801ab7 8d6d3b24
20c763ef c366a5fc 9c382880 0ace3205 aac9548a eca1d7c7 041afa32 1d16625a
6701902c 9b757a54 31d477f7 9126b031 36cc6fdb c70b8b46 d9e66a48 56e55a79
026a4ceb 52437eff 2f8f76b4 0df980a5 8674cde3 edda04eb 17a9be04 2c18f4df
b7747f9d ab2af7b4 efc34d20 2e096b7c 1741a254 e5b6a035 213d42f6 2c1c7c26
61c2f50f 6552daf9 d2c231f8 25130f69 d8167fa2 0418f2c8 001a96a6 0d1526ab
63315c21 5e0a72ec 49bafefd 187908d9 8d0dbd86 311170a7 3e9b640c cc3e10d7
d5cad3b6 0caec388 f73001e1 6c728aff 71eae2a1 1f9af36e cfcabd12f clde8417
ac07be6b cb44a1d8 8b9b0f56 013988c3 b1c52fca b4be31cd d8782806 12a3a4e2
6f7de532 58fd7eb6 d01ee900 24adffc2 f4990fc5 9711aac5 001d7b95 82e5e7d2
109873f6 00613096 c32d9521 ada121ff 29908415 7fbb977f af9eb3db 29c9ed2a
5ce2a465 a730f32c d0aa3fe8 8a5cc091 d49e2ce7 0ce454a9 d60acd86 015f1919
77079103 dea03af6 78a8565e dee356df 21f05cbe 8b75e387 b3c50651 b8a5c3ef
d8eeb6d2 e523be77 c2154529 2f69efdf afe67afb f470c4b2 f3e0eb5b d6cc9876
39e4460c 1fda8538 1987832f ca007367 a99144f8 296b299e 492fc295 9266beab
b5676e69 9bd3ddda df7e052f db25701c 1b5e51ee f65324e6 6afce36c 0316cc04

8644213e b7dc59d0 7965291f ccd6fd43 41823979 932bcdf6 b657c34d 4edfd282
7ae5290c 3cb9536b 851e20fe 9833557e 13ecf0b0 d3ffb372 3f85c5c1 0aef7ed2

S-Box S5

7ec90c04 2c6e74b9 9b0e66df a6337911 b86a7fff 1dd358f5 44dd9d44 1731167f
08fbf1fa e7f511cc d2051b00 735aba00 2ab722d8 386381cb acf6243a 69befd7a
e6a2e77f f0c720cd c4494816 ccf5c180 38851640 15b0a848 e68b18cb 4caadef7
5f480a01 0412b2aa 259814fc 41d0efe2 4e40b48d 248eb6fb 8dba1cfe 41a99b02
1a550a04 ba8f65cb 7251f4e7 95a51725 c106ecd7 97a5980a c539b9aa 4d79fe6a
f2f3f763 68af8040 ed0c9e56 11b4958b e1eb5a88 8709e6b0 d7e07156 4e29fea7
6366e52d 02d1c000 c4ac8e05 9377f571 0c05372a 578535f2 2261be02 d642a0c9
df13a280 74b55bd2 682199c0 d421e5ec 53fb3ce8 c8adedb3 28a87fc9 3d959981
5c1ff900 fe38d399 0c4eff0b 062407ea aa2f4fb1 4fb96976 90c79505 b0a8a774
ef55a1ff e59ca2c2 a6b62d27 e66a4263 df65001f 0ec50966 dfdd55bc 29de0655
911e739a 17af8975 32c7911c 89f89468 0d01e980 524755f4 03b63cc9 0cc844b2
bcf3f0aa 87ac36e9 e53a7426 01b3d82b 1a9e7449 64ee2d7e cddb1da 01c94910
b868bf80 0d26f3fd 9342ede7 04a5c284 636737b6 50f5b616 f24766e3 8eca36c1
136e05db fef18391 fb887a37 d6e7f7d4 c7fb7dc9 3063fcdf b6f589de ec2941da
26e46695 b7566419 f654efc5 d08d58b7 48925401 c1bacb7f e5ff550f b6083049
5bb5d0e8 87d72e5a ab6a6ee1 223a66ce c62bf3cd 9e0885f9 68cb3e47 086c010f
a21de820 d18b69de f3f65777 fa02c3f6 407edac3 cbb3d550 1793084d b0d70eba
0ab378d5 d951fb0c ded7da56 4124bbe4 94ca0b56 0f5755d1 e0e1e56e 6184b5be
580a249f 94f74bc0 e327888e 9f7b5561 c3dc0280 05687715 646c6bd7 44904db3
66b4f0a3 c0f1648a 697ed5af 49e92ff6 309e374f 2cb6356a 85808573 4991f840
76f0ae02 083be84d 28421c9a 44489406 736e4cb8 c1092910 8bc95fc6 7d869cf4
134f616f 2e77118d b31b2be1 aa90b472 3ca5d717 7d161bba 9cad9010 af462ba2
9fe459d2 45d34559 d9f2da13 dbc65487 f3e4f94e 176d486f 097c13ea 631da5c7
445f7382 175683f4 cdc66a97 70be0288 b3cdcf72 6e5dd2f3 20936079 459b80a5
be60e2db a9c23101 eba5315c 224e42f2 1c5c1572 f6721b2c 1ad2fff3 8c25404e
324ed72f 4067b7fd 0523138e 5ca3bc78 dc0fd66e 75922283 784d6b17 58ebb16e
44094f85 3f481d87 fcfeae7b 77b5ff76 8c2302bf aaf47556 5f46b02a 2b092801
3d38f5f7 0ca81f36 52af4a8a 66d5e7c0 df3b0874 95055110 1b5ad7a8 f61ed5ad
6cf6e479 20758184 d0cefa65 88f7be58 4a046826 0ff6f8f3 a09c7f70 5346aba0
5ce96c28 e176eda3 6bac307f 376829d2 85360fa9 17e3fe2a 24b79767 f5a96b20
d6cd2595 68ff1ebf 7555442c f19f06be f9e0659a eeb9491d 34010718 bb30cab8
e822fe15 88570983 750e6249 da627e55 5e76ffa8 b1534546 6d47de08 efe9e7d4

S-Box S6

f6fa8f9d 2cac6ce1 4ca34867 e2337f7c 95db08e7 016843b4 eced5cbc 325553ac
bf9f0960 dfale2ed 83f0579d 63ed86b9 1ab6a6b8 de5ebe39 f38ff732 8989b138
33f14961 c01937bd f506c6da e4625e7e a308ea99 4e23e33c 79cbd7cc 48a14367
a3149619 fec94bd5 a114174a eaa01866 a084db2d 09a8486f a888614a 2900af98
01665991 e1992863 c8f30c60 2e78ef3c d0d51932 cf0fec14 f7ca07d2 d0a82072
fd41197e 9305a6b0 e86be3da 74bed3cd 372da53c 4c7f4448 dab5d440 6dba0ec3
083919a7 9fbaeed9 49dbcfb0 4e670c53 5c3d9c01 64bdb941 2c0e636a ba7dd9cd
ea6f7388 e70bc762 35f29adb 5c4cdd8d f0d48d8c b88153e2 08a19866 1ae2eac8
284caf89 aa928223 9334be53 3b3a21bf 16434be3 9aea3906 efe8c36e f890cdd9
80226dae c340a4a3 df7e9c09 a694a807 5b7c5ecc 221db3a6 9a69a02f 68818a54
ceb2296f 53c0843a fe893655 25bfe68a b4628abc cf222ebf 25ac6f48 a9a99387
53bddb65 e76ffbe7 e967fd78 0ba93563 8e342bc1 e8a11be9 4980740d c8087dfc
8de4bf99 a11101a0 7fd37975 da5a26c0 e81f994f 9528cd89 fd339fed b87834bf
5f04456d 22258698 c9c4c83b 2dc156be 4f628daa 57f55ec5 e2220abe d2916ebf
4ec75b95 24f2c3c0 42d15d99 cd0d7fa0 7b6e27ff a8dc8af0 7345c106 f41e232f
35162386 e6ea8926 3333b094 157ec6f2 372b74af 692573e4 e9a9d848 f3160289
3a62ef1d a787e238 f3a5f676 74364853 20951063 4576698d b6fad407 592af950
36f73523 4cfb6e87 7da4cec0 6c152daa cb0396a8 c50dfe5d fcd707ab 0921c42f
89dff0bb 5fe2be78 448f4f33 754613c9 2b05d08d 48b9d585 dc049441 c8098f9b

7dede786 c39a3373 42410005 6a091751 0ef3c8a6 890072d6 28207682 a9a9f7be
bf32679d d45b5b75 b353fd00 cbb0e358 830f220a 1f8fb214 d372cf08 cc3c4a13
8cf63166 061c87be 88c98f88 6062e397 47cf8e7a b6c85283 3cc2acfb 3fc06976
4e8f0252 64d8314d da3870e3 1e665459 c10908f0 513021a5 6c5b68b7 822f8aa0
3007cd3e 74719eef dc872681 073340d4 7e432fd9 0c5ec241 8809286c f592d891
08a930f6 957ef305 b7fbffbd c266e96f 6fe4ac98 b173ecc0 bc60b42a 953498da
fbalae12 2d4bd736 0f25faab a4f3fceb e2969123 257f0c3d 9348af49 361400bc
e8816f4a 3814f200 a3f94043 9c7a54c2 bc704f57 da41e7f9 c25ad33a 54f4a084
b17f5505 59357cbe edbd15c8 7f97c5ab ba5ac7b5 b6f6deaf 3a479c3a 5302da25
653d7e6a 54268d49 51a477ea 5017d55b d7d25d88 44136c76 0404a8c8 b8e5a121
b81a928a 60ed5869 97c55b96 eaec991b 29935913 01fdb7f1 088e8dfa 9ab6f6f5
3b4cbf9f 4a5de3ab e6051d35 a0e1d855 d36b4cf1 f544edeb b0e93524 bebb8fbd
a2d762cf 49c92f54 38b5f331 7128a454 48392905 a65b1db8 851c97bd d675cf2f

S-Box S7

85e04019 332bf567 662dbfff cfc65693 2a8d7f6f ab9bc912 de6008a1 2028da1f
0227bce7 4d642916 18fac300 50f18b82 2cb2cb11 b232e75c 4b3695f2 b28707de
a05fbcf6 cd4181e9 e150210c e24ef1bd b168c381 fde4e789 5c79b0d8 1e8bfd43
4d495001 38be4341 913ceeld 92a79c3f 089766be baeeadf4 1286becf b6eacb19
2660c200 7565bde4 64241f7a 8248dca9 c3b3ad66 28136086 0bd8dfa8 356d1cf2
107789be b3b2e9ce 0502aa8f 0bc0351e 166bf52a eb12ff82 e3486911 d34d7516
4e7b3aff 5f43671b 9cf6e037 4981ac83 334266ce 8c9341b7 d0d854c0 cb3a6c88
47bc2829 4725ba37 a66ad22b 7ad61f1e 0c5cbafa 4437f107 b6e79962 42d2d816
0a961288 e1a5c06e 13749e67 72fc081a b1d139f7 f9583745 cf19df58 bec3f756
c06eba30 07211b24 45c28829 c95e317f bc8ec511 38bc46e9 c6e6fa14 bae8584a
ad4ebc46 468f508b 7829435f f124183b 821dba9f aff60ff4 ea2c4e6d 16e39264
92544a8b 009b4fc3 aba68ced 9ac96f78 06a5b79a b2856e6e 1aec3ca9 be838688
0e0804e9 55f1be56 e7e5363b b3a1f25d f7debb85 61fe033c 16746233 3c034c28
da6d0c74 79aac56c 3ce4e1ad 51f0c802 98f8f35a 1626a49f eed82b29 1d382fe3
0c4fb99a bb325778 3ec6d97b 6e77a6a9 cb658b5c d45230c7 2bd1408b 60c03eb7
b9068d78 a33754f4 f430c87d c8a71302 b96d8c32 ebd4e7be be8b9d2d 7979fb06
e7225308 8b75cf77 11ef8da4 e083c858 8d6b786f 5a6317a6 fa5cf7a0 5dda0033
f28ebfb0 f5b9c310 a0eac280 08b9767a a3d9d2b0 79d34217 021a718d 9ac6336a
2711fd60 438050e3 069908a8 3d7fedc4 826d2bef 4eeb8476 488dcf25 36c9d566
28e74e41 c2610aca 3d49a9cf bae3b9df b65f8de6 92aeaf64 3ac7d5e6 9ea80509
f22b017d a4173f70 dd1e16c3 15e0d7f9 50b1b887 2b9f4fd5 625aba82 6a017962
2ec01b9c 15488aa9 d716e740 40055a2c 93d29a22 e32dbf9a 058745b9 3453dc1e
d699296e 496cff6f 1c9f4986 dfe2ed07 b87242d1 19de7eae 053e561a 15ad6f8c
66626c1c 7154c24c ea082b2a 93eb2939 17dcb0f0 58d4f2ae 9ea294fb 52cf564c
9883fe66 2ec40581 763953c3 01d6692e d3a0c108 ale7160e e4f2dfa6 693ed285
74904698 4c2b0edd 4f757656 5d393378 a132234f 3d321c5d c3f5e194 4b269301
c79f022f 3c997e7e 5e4f9504 3ffafbbd 76f7ad0e 296693f4 3d1fce6f c61e45be
d3b5ab34 f72bf9b7 1b0434c0 4e72b567 5592a33d b5229301 cfd2a87f 60aeb767
1814386b 30bcc33d 38a0c07d fd1606f2 c363519b 589dd390 5479f8e6 1cb8d647
97fd61a9 ea7759f4 2d57539d 569a58cf e84e63ad 462e1b78 6580f87e f3817914
91da55f4 40a230f3 d1988f35 b6e318d2 3ffa50bc 3d40f021 c3c0bdae 4958c24c
518f36b2 84b1d370 0fedce83 878ddada f2a279c7 94e01be8 90716f4b 954b8aa3

S-Box S8

e216300d bbddfffc a7ebdabd 35648095 7789f8b7 e6c1121b 0e241600 052ce8b5
11a9cfb0 e5952f11 ece7990a 9386d174 2a42931c 76e38111 b12def3a 37dddfc
de9adeb1 0a0cc32c be197029 84a00940 bb243a0f b4d137cf b44e79f0 049eedfd
0b15a15d 480d3168 8bbbde5a 669ded42 c7ece831 3f8f95e7 72df191b 7580330d
94074251 5c7dcdfa abbe6d63 aa402164 b301d40a 02e7d1ca 53571dae 7a3182a2
12a8dddec fdad335d 176f43e8 71fb46d4 38129022 ce949ad4 b84769ad 965bd862
82f3d055 66fb9767 15b80b4e 1d5b47a0 4cfde06f c28ec4b8 57e8726e 647a78fc
99865d44 608bd593 6c200e03 39dc5fff 5d0b00a3 ae63aff2 7e8bd632 70108c0c

```

bbd35049 2998df04 980cf42a 9b6df491 9e7edd53 06918548 58cb7e07 3b74ef2e
522ffffb1 d24708cc 1c7e27cd a4eb215b 3cf1d2e2 19b47a38 424f7618 35856039
9d17dee7 27eb35e6 c9aff67b 36baf5b8 09c467cd c18910b1 e11dbf7b 06cd1af8
7170c608 2d5e3354 d4de495a 64c6d006 bcc0c62c 3dd00db3 708f8f34 77d51b42
264f620f 24b8d2bf 15c1b79e 46a52564 f8d7e54e 3e378160 7895cda5 859c15a5
e6459788 c37bc75f db07ba0c 0676a3ab 7f229b1e 31842e7b 24259fd7 f8bef472
835ffcb8 6df4c1f2 96f5b195 fd0af0fc b0fe134c e2506d3d 4f9b12ea f215f225
a223736f 9fb4c428 25d04979 34c713f8 c4618187 ea7a6e98 7cd16efc 1436876c
f1544107 bedeee14 56e9af27 a04aa441 3cf7c899 92ecbae6 dd67016d 151682eb
a842eedf fdba60b4 f1907b75 20e3030f 24d8c29e e139673b efa63fb8 71873054
b6f2cf3b 9f326442 cb15a4cc b01a4504 f1e47d8d 844a1be5 bae7dfdc 42cbda70
cd7dae0a 57e85b7a d53f5af6 20cf4d8c cea4d428 79d130a4 3486ebfb 33d3cddc
77853b53 37effcb5 c5068778 e580b3e6 4e68b8f4 c5c8b37e 0d809ea2 398feb7c
132a4f94 43b7950e 2fee7d1c 223613bd dd06caa2 37df932b c4248289 acf3ebc3
5715f6b7 ef3478dd f267616f c148cbe4 9052815e 5e410fab b48a2465 2eda7fa4
e87b40e4 e98ea084 5889e9e1 efd390fc dd07d35b db485694 38d7e5b2 57720101
730edebc 5b643113 94917e4f 503c2fba 646f1282 7523d24a e0779695 f9c17a8f
7a5b2121 d187b896 29263a4d ba510cdf 81f47c9f ad1163ed ea7b5965 1a00726e
11403092 00da6d77 4a0cdd61 ad1f4603 605bdfb0 9eedc364 22ebe6a8 cee7d28a
a0e736a0 5564a6b9 10853209 c7eb8f37 2de705ca 8951570f df09822b bd691a6c
aa12e4f2 87451c0f e0f6a27a 3ada4819 4cf1764f 0d771c2b 67cdb156 350d8384
5938fa0f 42399ef3 36997b07 0e84093d 4aa93e61 8360d87b 1fa98b0c 1149382c
e97625a5 0614d1b7 0e25244b 0c768347 589e8d82 0d2059d1 a466bb1e f8da0a82
04f19130 ba6e4ec0 99265164 1ee7230d 50b2ad80 eaee6801 8db2a283 ea8bf59e

```

Daftar Pustaka

- Munir, Rinaldi. (Agustus, 2006). Kriptografi. Bandung.
- Adams, Carlisle M. (May, 1997). The CAST-128 Encryption Algorithm. Canada: Entrust Technologies.
- Adams, Carlisle M. (1997). Constructing Symmetric Ciphers Using the CAST Design Procedure. Canada: Entrust Technologies.
- Altman, J. (September 2000). Telnet Encryption: CAST-128 64 bit Cipher Feedback. Ney York: Columbia University.
- Adams, Carlisle M. (Oktober 2000). Use of the CAST-128 Encryption Algorithm in CMS. Canada: Entrust Technologies.
- Pereira, Roy. (May 1997). The ESP CAST-128-CBC Algorithm. Timestep Corporation.
- Lung, Chan. Studi dan Implementasi Advanced Encryption Standard dengan Empat Mode Operasi Block Cipher. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Gunawan, Ade, dkk. (Oktober 2006). Perancangan dan Implementasi Algoritma Kriptografi “Baru” dengan Mode ECB, CBC, dan CFB. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Dryazgov, Andrey. Strong and Fast Data Encryption with the CAST-128 Algorithm. www.codeproject.com.
- RSA Security. www.rsasecurity.com. Halaman web bulan September 2006.
- Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/CAST-128>. last modified 10:52, 25 September 2006.