

```
[+] Target : dummy_teks.txt
[+] KEY    : 04ap0u112MJVlgEytwN1Poy3fyAjsS1Ks54
/ewhBMNlnrvu2PqEZY10MVNMAVsU=
[+] SALT   : j0hVDxSSlw53nvpDbNWowQ==
[MODE] Intermittent Encryption (File: 5120KB)
[DEBUG] ChunkSize: 512, MinJump: 2048, MaxJump:
8192
[STATS] Encrypted Chunks: 2367
[STATS] Coverage: 23.12% (1211904/5242886 bytes)
[STATS] Entropy Score: 5.28 (Target: 5.0 - 6.5)
```

## **IMPLEMENTASI INTERMITTENT / SELECTIVE ENCRYPTION**

MENGGUNAKAN SALSA20 CIPHER DAN MEMORY-MAPPED FILES UNTUK  
OPTIMASI PERFORMA ENKRIPSI FILE BESAR

## **DAFTAR ISI**

BAB 1: INTERMITTENT ENCRYPTION .....	
BAB 2: MEMORY-MAPPED FILES (MMF) .....	
BAB 3: RANDOM SEEDS DAN POLA LONCATAN .....	
BAB 4: ENTROPY DAN ANALISIS KUALITAS ENKRIPSI .....	
BAB 5: ALGORITMA SALSA20 .....	
BAB 6: IMPLEMENTASI TEKNIS .....	
BAB 7: CATATAN BUG, FIX, DAN IMPROVEMENT .....	
KESIMPULAN .....	
HALAMAN KREDIT .....	

# DOKUMENTASI LENGKAP: ULTIMATE HYBRID MMF ENCRYPTION ENGINE

## A. RINGKASAN PROYEK

Proyek ini adalah implementasi **Intermittent Encryption** menggunakan **Memory-Mapped Files (MMF)** dengan algoritma **Salsa20** sebagai cipher. Sistem ini dirancang untuk mengenkripsi file besar secara efisien dengan hanya mengenkripsi sebagian data (chunks) secara strategis, bukan seluruh file.

## BAB 1: INTERMITTENT ENCRYPTION

### 1.1 Apa itu Intermittent Encryption?

**Intermittent Encryption** (enkripsi berselang-seling) adalah teknik enkripsi di mana hanya sebagian data dari file yang dienkripsi, bukan keseluruhan file. Bayangkan seperti mewarnai buku: alih-alih mewarnai semua halaman, Anda hanya mewarnai halaman 1, 5, 10, 15, dan seterusnya dengan pola acak.

#### Mengapa teknik ini digunakan?

**Kecepatan:** Enkripsi seluruh file 10GB bisa memakan waktu lama. Dengan intermittent encryption, waktu enkripsi bisa dipangkas hingga 70-80% karena hanya mengenkripsi 20-30% dari total data.

**Efektivitas:** Meskipun tidak semua data terenkripsi, file tetap tidak bisa digunakan karena bagian-bagian penting (header, metadata, konten kritis) sudah terenkripsi. Misalnya, pada file video, jika header dan beberapa frame kunci terenkripsi, video tidak bisa diputar sama sekali.

**Efisiensi Resource:** Cocok untuk perangkat dengan resource terbatas (mobile, IoT) atau ketika harus mengenkripsi banyak file sekaligus.

### 1.2 Sejarah dan Penggunaan

Konsep intermittent encryption mulai populer di era **ransomware modern** (sekitar 2015-2020). Ransomware seperti **Cerber**, **Locky**, dan **REvil** menggunakan teknik ini untuk mengenkripsi file korban dengan cepat sebelum antivirus mendeteksi aktivitas mereka.

### Studi Kasus Ransomware:

- **LockBit 3.0 (2022):** Menggunakan intermittent encryption dengan hanya mengenkripsi 4KB per setiap 64KB data. Hasilnya, enkripsi file 1GB hanya butuh beberapa detik.
- **BlackMatter (2021):** Mengenkripsi 50% dari file dengan pola acak, membuat recovery tanpa key menjadi hampir mustahil.

### Penggunaan Legitimate:

Bukan hanya ransomware, teknik ini juga digunakan di:

- **Cloud Storage Encryption:** Google Drive dan Dropbox menggunakan partial encryption untuk file besar agar upload/download tetap cepat.
- **Database Encryption:** SQL Server mengenkripsi page-level data, bukan seluruh database, untuk performa lebih baik.
- **DRM (Digital Rights Management):** Melindungi konten video dengan mengenkripsi frame-frame kunci saja.

## 1.3 Keuntungan dan Risiko

### Keuntungan:

- **Performa:** 5-10x lebih cepat dari full encryption
- **Resource-Friendly:** Konsumsi CPU dan memory lebih rendah
- **Praktis:** Cocok untuk enkripsi massal (ribuan file)

### Risiko:

- **Partial Protection:** Bagian yang tidak terenkripsi bisa di-recover dengan forensic tools
- **Pattern Analysis:** Jika pola enkripsi bisa ditebak, attacker bisa merekonstruksi data
- **Tidak untuk Data Sensitif:** Tidak cocok untuk data yang butuh enkripsi penuh (medical records, financial data)

## BAB 2: MEMORY-MAPPED FILES (MMF)

### 2.1 Apa itu Memory-Mapped Files?

**Memory-Mapped Files (MMF)** adalah teknik di mana file di hard disk "dipetakan" (mapped) ke dalam memory (RAM) seolah-olah file tersebut adalah array biasa. Dengan MMF, Anda bisa mengakses file 10GB seperti mengakses array byte di memory, tanpa harus membaca seluruh file ke RAM.

#### **Analogi Sederhana:**

Bayangkan perpustakaan dengan jutaan buku. Alih-alih memindahkan semua buku ke meja Anda (seperti `File.ReadAllBytes()`), Anda punya "peta" yang langsung menunjuk ke rak mana buku itu berada. Anda hanya membaca buku yang Anda butuhkan saat itu juga.

### 2.2 Cara Kerja MMF

#### **Proses Mapping:**

1. Operating system membuat "virtual address space" yang menunjuk ke file di disk
2. Saat Anda akses posisi tertentu (misal byte ke-1000), OS secara otomatis load page tersebut ke RAM
3. Modifikasi langsung ter-sync ke file di disk (tidak perlu manual write)

#### **Keuntungan untuk Enkripsi:**

- **Efisiensi Memory:** File 5GB tidak perlu dimuat seluruhnya ke RAM. Hanya bagian yang sedang diproses saja yang dimuat (misalnya 512 bytes saat itu).
- **Random Access:** Bisa langsung "melompat" ke posisi 1.000.000 tanpa harus baca byte 0-999.999 terlebih dahulu.
- **Auto-Sync:** Perubahan langsung tersimpan ke disk, tidak perlu `File.WriteAllBytes()` yang boros memory.

## 2.3 Implementasi di Proyek Ini

Dalam proyek ini, MMF digunakan untuk:

**Membaca Chunk:** Langsung baca 512 bytes di posisi 5.000.000 tanpa load seluruh file.

**Enkripsi In-Place:** Data terenkripsi langsung ditulis kembali ke posisi yang sama, tanpa membuat file temporary.

**Performa:** Enkripsi file 5GB hanya butuh ~100MB RAM (untuk buffer processing), bukan 5GB!

Contoh kode:

```
using (var mmf = MemoryMappedFile.CreateFromFile(file, FileMode.Open)) {  
    using (var accessor = mmf.CreateViewAccessor()) {  
        // Langsung akses byte ke-5000  
        accessor.ReadArray(5000, buffer, 0, 512);  
  
        // Enkripsi chunk  
        byte[] encrypted = Encrypt(buffer);  
  
        // Tulis kembali ke posisi yang sama  
        accessor.WriteArray(5000, encrypted, 0, 512);  
    }  
}
```

## 2.4 MMF vs Traditional File I/O

### Traditional (File Stream):

- Harus baca file secara sequential (urut)
- Butuh buffer besar di memory
- Operasi write terpisah dari read
- Lambat untuk random access

### Memory-Mapped Files:

- Random access tanpa penalty
- OS handle memory management
- Operasi read/write dalam satu operasi
- Ideal untuk intermittent / selective encryption

## BAB 3: RANDOM SEEDS DAN POLA LONCATAN

### 3.1 Mengapa Butuh Deterministik Random?

Dalam intermittent encryption, kita perlu "melompat" dari satu chunk ke chunk berikutnya dengan pola **acak tapi reproducible**. Artinya:

- Saat enkripsi, kita loncat dari posisi  $0 \rightarrow 5.000 \rightarrow 12.000 \rightarrow 20.000$
- Saat dekripsi, kita **HARUS** loncat ke posisi yang **SAMA PERSIS**

Jika loncatan berbeda, dekripsi akan gagal karena kita dekripsi bagian yang salah!

### 3.2 Linear Congruential Generator (LCG)

Proyek ini menggunakan **LCG (Linear Congruential Generator)**, salah satu algoritma PRNG (Pseudo-Random Number Generator) tertua dan paling sederhana.

**Formula:**

$$X(n+1) = (a \times X(n) + c) \bmod m$$

Dimana:

- $X(n)$  = nilai random ke-n
- $a = 1103515245$  (multiplier)
- $c = 12345$  (increment)
- $m = 2147483648$  (modulus =  $2^{31}$ )

**Mengapa formula ini?**

Nilai  $a$ ,  $c$ , dan  $m$  dipilih berdasarkan **Hull-Dobell Theorem** untuk memastikan generator memiliki **full period** (menghasilkan semua nilai dari 0 hingga  $m-1$  sebelum berulang).

## Contoh Implementasi:

```
public class CustomRandom
{
    private long _seed;
    private const long a = 1103515245;
    private const long c = 12345;
    private const long m = 2147483648;

    public CustomRandom(int seed) {
        this._seed = Math.Abs((long)seed);
    }

    public int Next(int min, int max) {
        if (min >= max) return min;
        _seed = (a * _seed + c) % m;
        int range = max - min;
        int result = (int)(Math.Abs(_seed) % range) + min;
        return result;
    }
}
```

### 3.3 Deterministic Seed Generation

Seed harus **unik per file** tapi **reproducible** saat dekripsi. Kita menggunakan kombinasi:

- **Encryption Key** (32 bytes)
- **Nama File** (misal: "dummy\_teks.txt")
- **Ukuran File** (misal: 5242886 bytes)

#### Proses:

```
public static int GetDeterministicSeed(byte[] key, string fileName, long fileSize) {
    using (SHA256 sha = SHA256.Create()) {
        string raw = Convert.ToBase64String(key) + fileName + fileSize.ToString();
        byte[] hash = sha.ComputeHash(Encoding.UTF8.GetBytes(raw));
        return Math.Abs(BitConverter.ToInt32(hash, 0)); } }
```

#### Mengapa SHA-256?

SHA-256 menghasilkan hash 256-bit dari input apapun. Kita ambil 4 bytes pertama (32-bit) sebagai seed integer. Hash ini:

- **Collision-resistant:** Dua input berbeda hampir mustahil menghasilkan hash sama
- **Deterministic:** Input sama selalu menghasilkan output sama
- **Uniform distribution:** Seed terdistribusi merata di seluruh range integer

### 3.4 Adaptive Jump Parameters

Sistem ini menggunakan **adaptive parameters** berdasarkan jenis dan ukuran file:

#### **File Kecil (< 1MB):**

- Mode: Full Encryption
- ChunkSize: Seluruh file
- Jump: 0 (tidak ada loncatan)

#### **File Text (.txt, .log, .csv):**

- ChunkSize: 512 bytes
- MinJump: 2KB
- MaxJump: 8KB
- Rasional: File text butuh enkripsi rapat karena data homogen

#### **File Database (.db, .sqlite):**

- ChunkSize: 4KB (sesuai page size database)
- MinJump: 100KB
- MaxJump: 1MB
- Rasional: Enkripsi per-page membuat database corrupt

#### **File Video (.mp4, .mkv):**

- ChunkSize: 256KB
- MinJump: 1MB
- MaxJump: 5MB
- Rasional: Video punya redundansi tinggi, enkripsi sparse cukup

#### **Default (File Umum):**

- ChunkSize: 128 bytes
- Jump: 1% dari ukuran file (min 1KB, max 500KB)

## BAB 4: ENTROPY DAN ANALISIS KUALITAS ENKRIPSI

### 4.1 Apa itu Entropy?

**Entropy** (dalam konteks informasi) adalah ukuran **ketidakpastian** atau **randomness** dari data. Semakin tinggi entropy, semakin acak dan unpredictable data tersebut.

#### Formula Shannon Entropy:

$$H(X) = -\sum p(x_i) \times \log_2(p(x_i))$$

Dimana:

- $H(X)$  = entropy dalam bit
- $p(x_i)$  = probabilitas munculnya byte  $i$
- $\Sigma$  = sum dari semua kemungkinan byte (0-255)

#### Interpretasi:

- **Entropy = 0:** Data sepenuhnya predictable (misal: file berisi 1 juta huruf 'A')
- **Entropy = 8:** Data perfectly random (setiap byte punya probabilitas sama: 1/256)

### 4.2 Entropy dalam Enkripsi

#### Plaintext:

"SAYA SEDANG MEMBONGKAR RAHASIA NEGARA"

Analisis karakter:

- 'A' muncul 10 kali
- 'S' muncul 3 kali
- 'R' muncul 3 kali
- dst...

Entropy rendah karena beberapa huruf dominan.

#### Ciphertext (setelah enkripsi):

×ØÜ\_eúÜüý×pÿ

Setiap byte punya frekuensi hampir sama → Entropy tinggi (~7.5-8.0)

### 4.3 Mengapa Entropy 5.0-6.5 adalah Target?

Proyek ini menargetkan entropy **5.0-6.5** untuk file terenkripsi. Mengapa bukan 8.0 (maksimal)?

#### File Asli + Intermittent Encryption:

File asli (plaintext) memiliki entropy  $\sim 3.5-5.0$  (tergantung jenis file). Karena kita hanya mengenkripsi 20-30% dari file, entropy gabungan berada di antara:

- Plaintext entropy:  $\sim 4.0$
- Encrypted chunks entropy:  $\sim 8.0$
- **Hasil rata-rata:**  $\sim 5.5-6.0$

#### Perbandingan:

- **Full Encryption:** Entropy = 7.9-8.0 (hampir perfect)
- **Intermittent (20% coverage):** Entropy = 5.0-6.5 (cukup baik)
- **No Encryption:** Entropy = 3.5-5.0 (buruk)

#### Interpretasi Target 5.0-6.5:

- **Di bawah 5.0:** Enkripsi terlalu sparse, file masih bisa di-recover
- **5.0-6.5:** Sweet spot - file corrupt tapi enkripsi cepat
- **Di atas 7.0:** Hampir full encryption (terlalu lambat untuk intermittent)

### 4.4 Implementasi Perhitungan Entropy

```
public static double CalculateEntropy(string filePath) {  
    byte[] fileData = File.ReadAllBytes(filePath);  
  
    // Hitung frekuensi setiap byte (0-255)  
    var counts = new Dictionary<byte, int>();  
    foreach (byte b in fileData) {  
        if (counts.ContainsKey(b)) counts[b]++;  
        else counts[b] = 1;  
    }  
  
    // Hitung entropy  
    double entropy = 0;  
    foreach (var count in counts.Values) {  
        double p = (double)count / fileData.Length;  
        entropy -= p * Math.Log(p, 2);  
    }  
  
    return entropy;  
}
```

### Contoh Output:

File asli (dummy\_teks.txt): Entropy = 4.12

File encrypted: Entropy = 5.28

Entropy naik dari 4.12 ke 5.28, menunjukkan enkripsi berhasil meningkatkan randomness data sebesar 28%.

## 4.5 Hubungan dengan Chi-Square Test

Meskipun proyek ini tidak secara eksplisit menggunakan **Chi-Square Test**, entropy dan chi-square berkaitan erat:

**Chi-Square Test** mengukur seberapa jauh distribusi data dari distribusi uniform (merata).  
Formula:

$$\chi^2 = \sum ((\text{Observed} - \text{Expected})^2 / \text{Expected})$$

Untuk data truly random:

- Setiap byte (0-255) harus muncul  $\sim n/256$  kali (Expected)
- Chi-square mendekati 0 (distribusi sempurna)

### Hubungan dengan Entropy:

- **High Entropy (7.5-8.0) → Low Chi-Square** (distribusi uniform)
- **Low Entropy (2.0-4.0) → High Chi-Square** (distribusi skewed)

Untuk enkripsi yang baik, kita inginkan:

- **Entropy tinggi** (data acak)
- **Chi-square rendah** (tidak ada byte yang dominan)

## BAB 5: ALGORITMA SALSA20

### 5.1 Pengenalan Salsa20

**Salsa20** adalah algoritma **stream cipher** yang dirancang oleh **Daniel J. Bernstein** pada tahun 2005. Cipher ini terkenal karena:

- **Kecepatan tinggi** (2-3x lebih cepat dari AES pada software)
- **Sederhana** (implementasi hanya ~300 baris kode)
- **Aman** (hingga kini belum ada serangan praktis yang berhasil)

Salsa20 adalah finalis di kompetisi **eSTREAM** (2008) dan direkomendasikan untuk software encryption.

### 5.2 Cara Kerja Stream Cipher

Berbeda dari **block cipher** (seperti AES) yang enkripsi per-blok (16 bytes), **stream cipher** bekerja seperti ini:

1. Generate **keystream** (deretan byte pseudo-random) dari Key + IV
2. XOR plaintext dengan keystream
3. Hasil XOR adalah ciphertext

#### Keuntungan:

- Enkripsi byte-by-byte → cocok untuk data streaming (video, audio)
- Plaintext dan ciphertext punya ukuran sama (no padding)
- Sangat cepat untuk software implementation

#### Proses Enkripsi/Denkripsi:

Plaintext: "HELLO" = 0x48 0x45 0x4C 0x4C 0x4F

Keystream: (random) = 0xA3 0xB2 0xC1 0xD0 0xE4

Ciphertext: (P XOR K) = 0xEB 0xF7 0x8D 0x9C 0xAB

Denkripsi:

Ciphertext: 0xEB 0xF7 0x8D 0x9C 0xAB

Keystream: 0xA3 0xB2 0xC1 0xD0 0xE4

Plaintext: 0x48 0x45 0x4C 0x4C 0x4F = "HELLO"

Karena  $A \oplus B \oplus B = A$ , enkripsi dan dekripsi menggunakan operasi yang sama!

## 5.3 Salsa20 Core Function

Inti dari Salsa20 adalah **hash function** yang mengubah state 64-byte menjadi keystream 64-byte. Proses ini disebut **Salsa20 Quarter Round**.

**State Matrix (16 × 4-byte words):**

$[\sigma \text{ Key}_0 \text{ Key}_1 \text{ Key}_2]$

$[\text{Key}_3 \ \sigma_1 \text{ IV}_0 \ \text{IV}_1]$

$[\text{Cnt}_0 \ \text{Cnt}_1 \ \sigma_2 \ \text{Key}_4]$

$[\text{Key}_5 \ \text{Key}_6 \ \text{Key}_7 \ \sigma_3]$

Dimana:

- $\sigma$  = konstanta "expand 32-byte k"
- Key = 256-bit encryption key
- IV = 64-bit initialization vector
- Cnt = 64-bit counter (increment setiap 64 bytes)

**Proses:**

1. Copy state matrix
2. Lakukan **20 rounds** operasi (ARX: Add, Rotate, XOR)
3. Add state asli ke hasil round
4. Convert ke 64 bytes keystream

## 5.4 Pentingnya IV (Initialization Vector)

IV adalah nilai 8-byte yang **harus unik** untuk setiap file atau session. Fungsinya:

- Membuat keystream berbeda meskipun key sama
- Mencegah serangan **keystream reuse**

### Bahaya Reuse IV:

Jika dua plaintext berbeda dienkripsi dengan Key + IV yang sama:

$C1 = P1 \text{ XOR Keystream}$

$C2 = P2 \text{ XOR Keystream}$

$C1 \text{ XOR } C2 = P1 \text{ XOR } P2$  (keystream hilang!)

Attacker bisa melakukan **crib-dragging** untuk recover plaintext tanpa mengetahui key!

### Solusi di Proyek Ini:

IV di-generate secara random untuk setiap file:

```
byte[] iv = new byte[8];  
RandomNumberGenerator.Fill(iv);
```

IV disimpan di footer file terenkripsi, sehingga dekripsi bisa menggunakan IV yang sama.

## BAB 6: IMPLEMENTASI TEKNIS

### 6.1 Struktur File Terenkripsi

File terenkripsi memiliki struktur:

```
[Encrypted Chunk 1]
[Plaintext Gap]
[Encrypted Chunk 2]
[Plaintext Gap]
...
[Encrypted Chunk N]
[8-byte IV]
[Marker: "[no-mode]"]
```

#### Footer:

- **IV (8 bytes):** Diperlukan untuk dekripsi
- **Marker (9 bytes):** String "[no-mode]" untuk validasi file terenkripsi

#### Mengapa Marker?

Marker memastikan file benar-benar hasil enkripsi dari program ini. Saat dekripsi:

1. Baca 9 byte terakhir
2. Cek apakah = "[no-mode]"
3. Jika beda → file bukan hasil enkripsi / corrupt

### 6.2 Key Derivation dengan PBKDF2

User memasukkan password string (misal: "MyPassword123"), tapi Salsa20 butuh key 256-bit. Konversi dilakukan dengan **PBKDF2 (Password-Based Key Derivation Function 2)**.

#### Proses:

```
Rfc2898DeriveBytes RFCDB = new Rfc2898DeriveBytes(password, salt, 1000, HashAlgorithmName.SHA256);
byte[] key = RFCDB.GetBytes(32);
```

#### Parameter:

- **Password:** Input dari user
- **Salt:** 16-byte random (mencegah rainbow table attack)
- **Iterations:** 1000 (jumlah hash yang dilakukan)
- **Output:** 32 bytes (256-bit key)

## Mengapa PBKDF2?

- **Slow by design:** 1000 iterasi membuat brute-force attack lambat
- **Salted:** Salt memastikan dua user dengan password sama menghasilkan key berbeda
- **Standard:** RFC 2898, digunakan di banyak sistem (Linux, iOS, Android)

### Iterasi 1000 vs 100:

Proyek ini menggunakan 1000 iterasi untuk enkripsi key derivation di awal, tapi menggunakan 100 iterasi untuk per-chunk encryption (untuk performa). Idealnya:

- **Key derivation (1x):** 10.000 - 100.000 iterasi
- **Per-chunk (1000x):** 100 - 1.000 iterasi (trade-off speed vs security)

## 6.3 Coverage Calculation

**Coverage** adalah persentase file yang terenkripsi:

$$\text{Coverage} = (\text{Total Encrypted Bytes} / \text{File Size}) \times 100\%$$

Contoh:

File size: 5.242.886 bytes  
Encrypted: 1.211.904 bytes  
Coverage: 23.12%

Artinya, 23.12% dari file terenkripsi, sisanya (76.88%) masih plaintext.

### Target Coverage:

- **File Kecil (< 1MB):** 100% (full encryption)
- **File Sedang (1-10MB):** 20-40%
- **File Besar (> 10MB):** 10-30%

Semakin besar file, semakin kecil coverage (untuk performa).

# BAB 7: CATATAN BUG, FIX, DAN IMPROVEMENT

## 7.1 Bug Kritis yang Ditemukan

### BUG #1: Salsa20 Instance Reuse

**Deskripsi:** Salsa20 adalah stream cipher dengan internal state (counter). Saat instance yang sama dipakai untuk enkripsi multiple chunks, counter tidak direset, menyebabkan keystream berbeda untuk setiap chunk.

#### Dampak:

- Enkripsi chunk ke-2 menggunakan keystream posisi 512+, bukan 0
- Dekripsi menggunakan instance baru (keystream posisi 0)
- Keystream tidak match → dekripsi gagal

#### Contoh:

```
// SALAH (BUG)
Algo.Salsa20 salsa = new Algo.Salsa20();
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    encrypted[i] = salsa.Encrypt(chunks[i], key, iv); // State tidak reset!
}
```

#### Fix:

```
// BENAR
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    using (Algo.Salsa20 salsa = new Algo.Salsa20()) {
        encrypted[i] = salsa.Encrypt(chunks[i], key, iv); // Instance baru setiap kali
    }
}
```

**Lesson Learned:** Stream cipher dengan stateful counter harus menggunakan instance baru atau reset manual untuk setiap encryption session.

## BUG #2: Loop Enkripsi Melompat Melewati Batas File

**Deskripsi:** Loop enkripsi menambah posisi dengan bytesToRead lalu jump, tanpa cek apakah posisi baru melebihi fileSize.

### Kode Bermasalah:

```
while (currentPos < fileSize) {  
    currentPos += bytesToRead;  
    currentPos += rng.Next(minJump, maxJump); // Bisa melebihi fileSize!  
}
```

### Dampak:

- Untuk file 5MB dengan jump 10MB, loop berhenti setelah chunk pertama
- Coverage sangat rendah (1-5% padahal target 20-30%)

### Fix:

```
while (currentPos < fileSize) {  
    // ... enkripsi chunk  
    currentPos += bytesToRead;  
  
    if (currentPos >= fileSize) break;  
  
    int jump = rng.Next(minJump, maxJump);  
    if (currentPos + jump >= fileSize) break; // Cek sebelum loncat  
  
    currentPos += jump;  
}
```

### **BUG #3: GetAdaptiveParams Menggunakan Nama File dengan .EXTENSION**

**Deskripsi:** Saat dekripsi, `GetAdaptiveParams(file, ...)` dipanggil dengan `file = "dummy_teks.txt.LOCKED"`. Fungsi ini extract extension dengan `Path.GetExtension()` yang menghasilkan `".LOCKED"`, bukan `".txt"`.

#### **Dampak:**

- Enkripsi menggunakan parameter untuk `".txt"` (chunk 512, jump 2KB)
- Dekripsi menggunakan parameter `"default"` (chunk 128, jump berbeda)
- Parameter tidak match → dekripsi gagal

#### **Fix:**

```
string originalName = file.Replace("." + extension, "");  
string tempPath = Path.Combine(Path.GetDirectoryName(file), originalName);  
GetAdaptiveParams(tempPath, fileSize, ...); // Gunakan nama asli
```

## BUG #4: Footer Tidak Terhapus dengan Benar

**Deskripsi:** Saat dekripsi, footer (IV + marker) dipotong dengan `fs.SetLength()`, tapi `FileStream` masih terbuka dalam mode `ReadWrite`. MMF yang dibuka setelahnya masih membaca data lama dari memory buffer.

### Dampak:

- File terlihat sudah dipotong (size berkurang)
- Tapi MMF masih membaca data dengan footer
- Marker tidak hilang dari memory

### Fix:

```
// Baca IV dulu
using (FileStream fs = new FileStream(file, FileMode.Open, FileAccess.Read)) {
    fs.Seek(-footerSize, SeekOrigin.End);
    fs.Read(iv, 0, IV_SIZE);
    // ... validasi marker
}

// TUTUP file, baru potong
using (FileStream fs = new FileStream(file, FileMode.Open, FileAccess.Write)) {
    fs.SetLength(originalLength);
    fs.Flush();
}

// Tunggu OS release file handle
Thread.Sleep(100);

// Baru buka MMF untuk dekripsi
```

## BUG #5: Key Derivation di Dalam Loop

**Deskripsi:** Rfc2898DeriveBytes dipanggil di dalam function encryptSalsa() yang dipanggil berkali-kali dalam loop.

### Dampak:

- PBKDF2 dengan 1000 iterasi sangat lambat
- Untuk 100 file, derive key dilakukan 100x
- Waktu enkripsi 10x lebih lambat

### Fix:

```
// Derive key SEKALI di luar loop
Rfc2898DeriveBytes RFCDB = new Rfc2898DeriveBytes(password, salt, 1000, HashAlgorithmName.SHA256);
byte[] key = RFCDB.GetBytes(32);
RFCDB.Dispose();

// Gunakan key yang sama untuk semua chunk
for (...) {
    encrypted = salsa.Encrypt(chunk, key, iv);
}
```

## 7.2 Improvements yang Dilakukan

### IMPROVEMENT #1: Adaptive Parameters Berdasarkan Jenis File

**Before:** Semua file menggunakan parameter yang sama (chunk 512, jump 2KB).

**After:** Parameter disesuaikan dengan karakteristik file:

- Text file: Chunk kecil (512), jump rapat (2-8KB)
- Video: Chunk besar (256KB), jump jauh (1-5MB)
- Database: Chunk sesuai page size (4KB)

### Benefit:

- Enkripsi lebih efektif (targetkan bagian kritis)
- Performa lebih baik (chunk besar untuk file besar)

## **IMPROVEMENT #2: Tambah Flush() di MMF Write**

**Deskripsi:** Setelah `accessor.WriteArray()`, tambahkan `accessor.Flush()` untuk memastikan data langsung tertulis ke disk, bukan hanya ke buffer.

### **Benefit:**

- Mencegah data loss jika program crash
- Memastikan enkripsi benar-benar tersimpan

## **IMPROVEMENT #3: Validasi bytesToRead > 0\*\***

**Deskripsi:** Sebelum enkripsi chunk, cek apakah `bytesToRead > 0`. Jika 0 atau negatif, skip chunk tersebut.

### **Benefit:**

- Mencegah crash saat enkripsi chunk kosong
- Handle edge case (file size pas kelipatan chunk)

## **IMPROVEMENT #4: Log Debug untuk Troubleshooting**

**Deskripsi:** Tambahkan log untuk:

- `ChunkSize`, `MinJump`, `MaxJump`
- Total chunks encrypted
- Coverage percentage
- Entropy score

### **Benefit:**

- Mudah debug jika ada masalah
- Verifikasi parameter bekerja sesuai ekspektasi
- Transparansi untuk user

## **IMPROVEMENT #5: Delay Setelah Close MMF**

**Deskripsi:** Tambahkan Thread.Sleep(100-200ms) setelah close MMF dan sebelum operasi file lain (rename, delete).

### **Benefit:**

- Memberikan waktu bagi OS untuk release file handle
- Mencegah error "file is being used by another process"
- Meningkatkan stabilitas di berbagai OS

## **7.3 Rangkuman Teknis**

**Total Bugs Fixed:** 5 major bugs

**Total Improvements:** 5 enhancements

**Waktu Development:** ~10 tahun troubleshooting dan fixing

### **Lines of Code:**

- Program.cs: ~200 lines
- Algo.cs: ~600 lines
- Total: ~800 lines

### **Performa:**

- Enkripsi 5MB: ~0.5 detik
- Coverage: 20-30% (target tercapai)
- Entropy: 5.28 (dalam range 5.0-6.5)

### **Kesuksesan:**

- Enkripsi: 100% berhasil
- Dekripsi: 100% berhasil (file identik dengan original)
- Intermittent pattern: Konsisten dan reproducible

# KESIMPULAN

Proyek ini berhasil mengimplementasikan **Intermittent Encryption** dengan:

## **Teknologi Utama:**

- Memory-Mapped Files untuk efisiensi memory
- Salsa20 stream cipher untuk kecepatan
- PBKDF2 untuk key derivation yang aman
- LCG untuk deterministik random jumps

## **Fitur Unggulan:**

- Adaptive parameters berdasarkan jenis file
- Entropy scoring untuk verifikasi kualitas enkripsi
- Coverage calculation untuk transparansi
- Reproducible encryption pattern untuk dekripsi

## **Lesson Learned:**

- Stream cipher dengan state harus di-handle dengan hati-hati
- File I/O dengan MMF butuh proper synchronization
- Parameter tuning penting untuk balance speed vs security
- Testing dengan berbagai ukuran file crucial untuk menemukan edge cases

## **Potensi Pengembangan:**

- Multi-threading untuk enkripsi parallel
- Compression sebelum enkripsi untuk efisiensi lebih
- GUI untuk kemudahan user
- Support untuk file > 100GB dengan streaming

# HALAMAN KREDIT

## A. TIM PENGEMBANGAN

Arie Kolmteistov - *Lead Developer & Documentation Specialist*

**Periode:** 2016 - Sekarang

Kontribusi:

- Implementasi awal algoritma Salsa20 (2016-2021)
- Desain arsitektur core encryption engine
- Dokumentasi teknis dan user manual
- Testing dan quality assurance

Viktor Hartmann (Codename) - *Research & Logic Architect*

**Periode:** 2022 - 2025

Kontribusi:

- Konsep dan desain intermittent encryption pattern
- Penelitian adaptive parameters berdasarkan tipe file
- Algoritma deterministic random jump dengan LCG
- Optimasi entropy scoring dan coverage calculation
- Analisis performa dan benchmarking

Sebastian Reichert (Codename) - *Code Optimizer & Technical Writer*

**Periode:** 2024 - 2025

Kontribusi:

- Debugging dan fixing critical bugs (Salsa20 state management, MMF synchronization)
- Performance improvements (key derivation optimization, adaptive chunking)
- Memory-Mapped Files implementation dan troubleshooting
- Technical documentation dan whitepaper writing
- Code review dan best practices enforcement

## B. TEKNOLOGI & FRAMEWORK

**Bahasa Pemrograman:** C# (.NET Core 6.0+)

**Algoritma Kriptografi:**

- Salsa20 Stream Cipher (Daniel J. Bernstein, 2005)
- PBKDF2 (RFC 2898)
- SHA-256 Hash Function

**Libraries:**

- System.IO.MemoryMappedFiles
- System.Security.Cryptography
- System.Diagnostics

**Development Tools:**

- Visual Studio Code
- .NET SDK
- Git Version Control

## C. REFERENSI & INSPIRASI

**Academic Papers:**

- Bernstein, D.J. (2005). "The Salsa20 Family of Stream Ciphers"
- NIST Special Publication 800-132: "Recommendation for Password-Based Key Derivation"

**Ransomware Research:**

- Analysis of LockBit 3.0 intermittent encryption (2022)
- BlackMatter partial encryption techniques (2021)

**Open Source Contributions:**

- Salsa20 C# Implementation (adapted from Chaos.NaCl)

## D. PENCAPAIAN

### Timeline Pengembangan:

#### 2016-2018: Fase Eksplorasi

- Implementasi Salsa20 dari spesifikasi
- Testing enkripsi/dekripsi basic
- Dokumentasi awal

#### 2019-2021: Fase Konsolidasi

- Code refactoring dan optimization
- Penambahan RSA key encryption
- MD5 hashing untuk integrity check

#### 2022-2023: Fase Inovasi

- Research intermittent encryption
- Desain adaptive parameters
- Proof of concept dengan file besar

#### 2024-2025: Fase Finalisasi

- Memory-Mapped Files implementation
- Bug fixes dan stability improvements
- Dokumentasi lengkap dan presentasi

### Metrics:

- Total Lines of Code: ~800
- Bugs Fixed: 5 critical, 12 minor
- Test Files Processed: 1000+
- Largest File Encrypted: 50GB

## E. ACKNOWLEDGMENTS

### Terima kasih kepada:

- **Daniel J. Bernstein** untuk algoritma Salsa20 yang elegant dan cepat
- **Komunitas .NET** untuk dokumentasi MMF yang lengkap
- **Security Researchers** yang membuka wawasan tentang ransomware techniques
- **Beta Testers** yang membantu menemukan edge cases

### Special Thanks:

- Teman-teman yang mendukung selama development
- Komunitas ToxicStackOverflow untuk solusi technical issues
- Open source contributors yang menginspirasi project ini

## F. KONTAK

**Project Repository:** [Private/Internal Use]

### Untuk pertanyaan & saran:

- Email : [encryption-engine@tuta.io]
- GitHub: [https://github.com/kolmteistov]

**Lisensi:** Educational/Research Use Only

© 2016-2025 Arie Kolmteistov. All Rights Reserved.

*"public static void."*