Analisis Kinerja Implementasi ASCON-128 vs AES-128-GCM pada Sistem Kunci Sepeda IoT

Ahmad Naufal Ramadan - 13522005
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13522005@std.stei.itb.ac.id, naufalahmad022@gmail.com

***Abstrak*—Makalah ini menyajikan analisis komparatif antara ASCON-128 (Standar NIST LWC) dan AES-128-GCM pada simulasi lingkungan terbatas. Kami berfokus pada latensi CPU, penggunaan memori, dan overhead kode untuk aplikasi kunci sepeda pintar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ASCON-128 memiliki keunggulan dalam penggunaan memori yang lebih rendah, menjadikannya kandidat kuat untuk perangkat IoT dengan sumber daya sangat terbatas, meskipun AES-128-GCM unggul dalam throughput pada perangkat dengan akselerasi perangkat keras.**

***Kata Kunci*—Kriptografi Ringan, ASCON, AES-GCM, Keamanan IoT, Benchmarking**

I. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat, menghubungkan miliaran perangkat ke internet. Namun, perangkat-perangkat ini seringkali memiliki keterbatasan sumber daya komputasi, memori, dan daya baterai. Kriptografi standar seperti AES (Advanced Encryption Standard) seringkali terlalu berat untuk diimplementasikan pada perangkat kelas bawah tanpa akselerasi perangkat keras khusus.

Pada tahun 2023, NIST mengumumkan standar baru untuk Kriptografi Ringan (Lightweight Cryptography/LWC), yaitu keluarga algoritma ASCON [1]. Standar ini dirancang khusus untuk memberikan keamanan yang kuat pada lingkungan terbatas.

Dalam makalah ini, kami mengimplementasikan dan membandingkan kinerja ASCON-128 dan AES-128-GCM dalam konteks sistem kunci sepeda pintar (Smart Bicycle Lock). Sistem ini memerlukan autentikasi yang cepat dan aman untuk membuka kunci, dengan overhead daya dan memori seminimal mungkin. Fokus utama penelitian ini adalah mengukur trade-off antara latensi eksekusi dan konsumsi memori dari kedua algoritma tersebut.

II. Landasan Teori

A. Kriptografi Ringan (Lightweight Cryptography)

Kriptografi ringan adalah cabang kriptografi yang berfokus pada perancangan algoritma yang disesuaikan untuk lingkungan terbatas (*constrained environments*), seperti sensor network, RFID tags, dan mikrokontroler embedded. Tujuannya bukan untuk memberikan keamanan yang lebih rendah dari standar konvensional, melainkan memberikan keamanan setara dengan jejak implementasi (*implementation footprint*) yang lebih kecil.

B. ASCON-128

ASCON adalah keluarga algoritma *Authenticated Encryption with Associated Data* (AEAD) berbasis permutasi (*permutation-based*) [2]. ASCON-128 menggunakan kunci 128-bit, nonce 128-bit, dan tag 128-bit. Struktur internalnya menggunakan skema Sponge dengan permutasi 320-bit. Keunggulan utama ASCON adalah efisiensi pada perangkat lunak tanpa dukungan instruksi khusus dan ketahanan terhadap *side-channel attacks*.

C. AES-128-GCM

AES (Advanced Encryption Standard) dalam mode GCM (Galois/Counter Mode) adalah standar industri untuk *high-speed authenticated encryption*. AES bekerja berdasarkan operasi blok cipher 128-bit. Meskipun sangat efisien pada prosesor desktop dan server modern berkat instruksi AES-NI, implementasinya pada perangkat mikrokontroler 8-bit atau 16-bit seringkali membutuhkan kode yang besar (`code size`) dan memori tabel pencarian (`S-box`) yang signifikan.

III. Metodologi

Sistem kunci sepeda pintar disimulasikan menggunakan bahasa pemrograman Python 3.10. Implementasi terdiri dari modul utama `BicycleLockSystem` dan wrapper kriptografi untuk ASCON dan AES.

A. Arsitektur Perangkat Lunak

Kode program diorganisir ke dalam modul-modul berikut:

- `src/bicycle_lock_terminal.py`[1]: Antarmuka terminal utama yang menangani registrasi sepeda dan simulasi proses `lock/unlock`.
- `src/crypto_engine/ascon_wrapper.py`[1]: Implementasi kelas `AsconLock` yang membungkus pustaka `ascon` native Python.
- `src/crypto_engine/aes_wrapper.py`[1]: Implementasi kelas `AESLock` menggunakan pustaka `pycryptodome` dengan mode GCM.

[1]Kode sumber lengkap (simulasi dan kriptografi) tersedia di: https://github.com/SandWithCheese/makalah-kripto

B. Implementasi Kriptografi

Bagian ini mendetailkan implementasi wrapper untuk kedua algoritma yang digunakan dalam simulasi.

1) Implementasi ASCON-128: ASCON-128 diimplementasikan menggunakan pustaka `ascon` native Python (Gambar 1). Wrapper ini menangani pembuatan *nonce* unik (128-bit) untuk setiap operasi enkripsi guna mencegah *replay attack*. *Associated Data* (AD) disertakan untuk menjamin integritas konteks perintah.

```
class AsconLock(BaseCipher):
    def encrypt_command(self, plaintext,
        associated_data):
        # Generate unique 128-bit nonce
        nonce = os.urandom(16)

        # ASCON-128 encryption
        ciphertext = ascon_encrypt(
            key=self.key,
            nonce=nonce,
            associateddata=associated_data,
            plaintext=plaintext,
            variant="Ascon-128"
        )
        return nonce, ciphertext
```

Gambar 1. Potongan kode implementasi enkripsi ASCON-128.

2) Implementasi AES-128-GCM: Sebagai pembanding standar industri, AES-128-GCM diimplementasikan menggunakan pustaka `pycryptodome`. Berbeda dengan ASCON, AES-GCM menggunakan *nonce* standar 96-bit yang diperlihatkan pada Gambar 2.

```
class AESLock(BaseCipher):
    def encrypt_command(self, plaintext,
        associated_data):
        # Generate unique 96-bit nonce (Standard GCM
            )
        nonce = os.urandom(12)

        cipher = AES.new(self.key, AES.MODE_GCM,
            nonce=nonce)
        cipher.update(associated_data)

        # Encrypt and generate tag
        ciphertext, tag = cipher.encrypt_and_digest(
            plaintext)
        return nonce, ciphertext + tag
```

Gambar 2. Potongan kode implementasi enkripsi AES-128-GCM.

C. Protokol Komunikasi Aman

Untuk memastikan keamanan perintah "Unlock", setiap pesan dienkripsi menggunakan skema AEAD.

1) **Pembangkitan Kunci**: Saat registrasi, kunci acak 128-bit dibangkitkan menggunakan `os.urandom(16)`.
2) **Struktur Pesan**: Format pesan adalah `UNLOCK:<bike_id>:<timestamp>`.
3) **Nonce Unik**: Untuk setiap operasi enkripsi, *nonce* baru dibangkitkan.
4) **Associated Data**: ID sepeda disertakan sebagai AD yang tidak dienkripsi namun diautentikasi.

D. Simulasi Berbasis Terminal

Untuk memvalidasi fungsionalitas sistem secara menyeluruh, dikembangkan aplikasi simulasi berbasis terminal (*Command Line Interface*). Simulasi ini memodelkan interaksi nyata antara pengguna dan sistem kunci pintar.

1) Alur Kerja Simulasi: Aplikasi terminal menyediakan antarmuka interaktif yang mencakup fitur-fitur berikut:

- **Registrasi Perangkat**: Pengguna dapat mendaftarkan sepeda dengan ID unik. Sistem akan membangkitkan dan menyimpan kunci enkripsi khusus untuk ID tersebut.
- **Simulasi Unlock**: Fitur ini mensimulasikan pembangkitan token akses oleh aplikasi mobile. Token berisi perintah waktu-nyata (real-time) yang diamankan dengan algoritma terpilih (ASCON atau AES).
- **Verifikasi Token**: Mensimulasikan logika pada mikrokontroler kunci (Lock MCU). Sistem memvalidasi token, mendekripsi pesan, dan memeriksa kesesuaian waktu serta integritas data.
- **Uji Manipulasi Data**: Simulasi secara otomatis menyertakan demonstrasi keamanan dengan memodifikasi token yang valid (tampering). Sistem harus mampu mendeteksi perubahan ini dan menolak akses, mendemonstrasikan fitur integritas AEAD.

Implementasi logika pembuatan token dapat dilihat pada Gambar 3.

```
def generate_unlock_token(self, bike_id):
    # Create secure command structure
    timestamp = datetime.now().isoformat()
    command = f"UNLOCK:{bike_id}:{timestamp}"

    # Authenticated encryption
    associated_data = self.lock_manufacturer_id +
        bike_id.encode()
    nonce, ciphertext = self.cipher.encrypt_command(
        command.encode(),
        associated_data
    )
    return { "nonce": nonce, "ciphertext":
        ciphertext }
```

Gambar 3. Implementasi fungsi kunci logika bisnis untuk pembuatan token akses.

E. Lingkungan Pengujian

Pengujian kinerja dilakukan pada perangkat dengan spesifikasi:

- CPU: 12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700H
- RAM: 16 GB
- OS: Linux (WSL Ubuntu 24.04)

Metodologi benchmarking menggunakan modul `timeit` untuk pengukuran latensi enkripsi/dekripsi (rata-rata dari 1000 iterasi) dan modul `tracemalloc` untuk mengukur puncak penggunaan memori RAM.

IV. Hasil dan Pembahasan

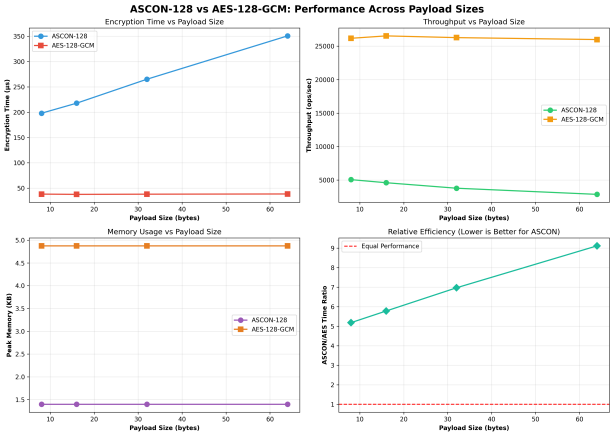
Bagian ini memaparkan hasil benchmarking kinerja antara ASCON-128 dan AES-128-GCM. Metrik yang dievaluasi adalah latensi waktu komputasi, penggunaan memori, dan throughput.

A. Analisis Latensi (Waktu Eksekusi)

Berdasarkan data pengujian dengan payload 64 byte (ukuran tipikal perintah unlock) yang diilustrasikan pada Gambar 4:

- **ASCON-128**: Rata-rata waktu enkripsi adalah 350.75 μs dan dekripsi 348.13 μs.
- **AES-128-GCM**: Rata-rata waktu enkripsi adalah 38.47 μs dan dekripsi 49.67 μs.

AES-GCM terlihat jauh lebih cepat (hampir 9x lipat) dalam simulasi ini. Hal ini disebabkan oleh pustaka `pycryptodome` yang mengutilisasi instruksi AES-NI pada prosesor Intel/AMD modern dan implementasi *backend* C yang teroptimasi. Di sisi lain, implementasi ASCON berjalan murni pada Python (*pure-python reference*), yang mensimulasikan kinerja pada perangkat tanpa akselerasi perangkat keras.



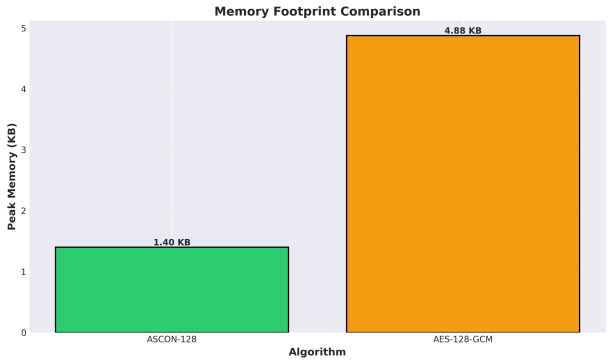
Gambar 4. Analisis Waktu Enkripsi Berdasarkan Ukuran Payload

B. Analisis Penggunaan Memori

Pengukuran memori puncak (*peak memory usage*) menunjukkan keunggulan signifikan ASCON:

- **ASCON-128**: Rata-rata penggunaan memori puncak hanya **1.40 KB**.
- **AES-128-GCM**: Rata-rata penggunaan memori puncak mencapai **4.88 KB**.

Hasil ini konsisten dengan desain ASCON yang memang ditujukan untuk perangkat terkekang (*constrained devices*) dengan RAM sangat terbatas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. AES-GCM membutuhkan tabel *lookup* yang lebih besar dan state management yang lebih kompleks.



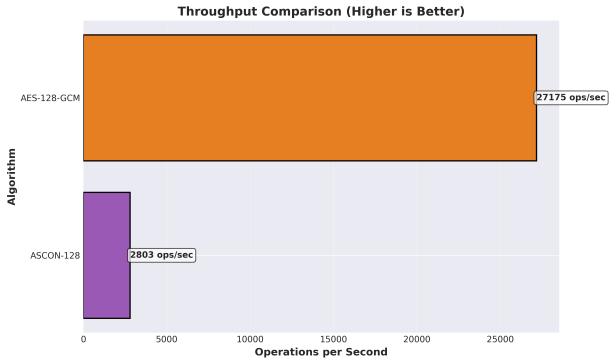
Gambar 5. Perbandingan Penggunaan Memori Puncak

C. Throughput

Throughput enkripsi pada payload 64 byte (Gambar 6):

- ASCON-128: $\approx$ 2,851 operasi/detik.
- AES-128-GCM: $\approx$ 25,989 operasi/detik.

Meskipun throughput AES lebih tinggi di PC, ASCON memberikan kinerja yang memadai ($>$ 2000 ops/sec) yang sudah sangat cukup untuk aplikasi kunci sepeda yang hanya beroperasi sesekali (tidak *real-time streaming*).



Gambar 6. Perbandingan Throughput Operasi Enkripsi

D. Analisis Keamanan

Kedua algoritma berhasil memverifikasi integritas data. Percobaan modifikasi ciphertext menghasilkan kegagalan autentikasi (tag mismatch), memastikan sistem aman dari serangan manipulasi pesan.

V. Kesimpulan

A. Kesimpulan

Berdasarkan implementasi dan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1) **ASCON-128 lebih efisien dalam penggunaan memori**, mengonsumsi hanya sekitar 1.4 KB peak RAM dibandingkan AES-GCM yang membutuhkan 4.9 KB. Ini menjadikan ASCON pilihan ideal untuk mikrokontroler low-end (seperti AVR atau ARM Cortex-M0) yang memiliki keterbatasan SRAM.

2) **AES-128-GCM menawarkan kecepatan eksekusi yang lebih tinggi** pada perangkat yang mendukung instruksi AES-NI. Namun, pada perangkat IoT tanpa akselerasi tersebut, keunggulan ini mungkin tidak signifikan atau justru berbalik karena kompleksitas tabel AES.
3) Implementasi sistem kunci sepeda pintar berhasil mengamankan perintah *unlock* menggunakan kedua algoritma dengan mekanisme `nonce` unik untuk mencegah *replay attacks*.

B. Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk:

- Melakukan pengukuran daya (*power consumption benchmarking*) pada perangkat keras IoT fisik (misalnya ESP32).
- Mengimplementasikan versi teroptimasi C dari ASCON untuk membandingkan kinerja secara lebih adil dengan AES OpenSSL/PyCryptodome.

DAFTAR PUSTAKA

[1] NIST, "Lightweight cryptography," https://csrc.nist.gov/Projects/lightweight-cryptography, 2023, accessed: 2025-12-20.

[2] C. Dobraunig, M. Eichlseder, F. Mendel, and M. Schläffer, "Ascon v1. 2: Lightweight authenticated encryption and hashing," *Journal of Cryptology*, vol. 34, no. 3, p. 33, 2021.

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 26 Desember 2025

Ahmad Naufal Ramadan - 13522005