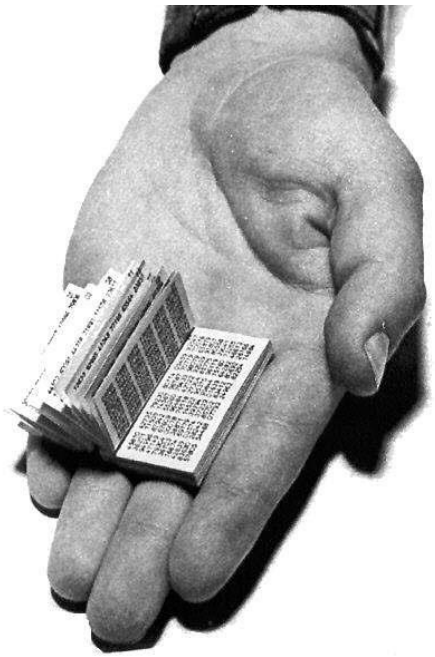
Bahan kuliah II4031 Kriptografi dan Koding

04 - *One-Time Pad*, *Cipher* yang Tidak Dapat Dipecahkan (*Unbreakable Cipher*)



Oleh: Rinaldi Munir

Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
2024

Pendahuluan

- *Unbreakable cipher* merupakan klaim yang dibuat oleh kriptografer terhadap algoritma kriptografi yang dirancangnya.

- Namun, kebanyakan algoritma yang sudah pernah dibuat orang adalah *breakable cipher*.

- *Caesar Cipher*, *Vigenere Cipher* , *Playfair Cipher*, *Affine Cipher*, *Enigma Cipher*, *Hill Cipher*, dll sudah kadaluarsa karena *breakable cipher*.

- Apakah *unbreakable cipher* memang benar-benar ada?
  Jawaban: ada!

- Apa syarat sebuah *cipher* disebut *unbreakable cipher*?
  Jawaban:
  1. Kunci harus benar-benar acak (*trully random*).
  2. Panjang kunci = panjang plainteks
  3. Kunci hanya boleh digunakan sekali, tidak boleh digunakan ulang untuk mengenkripisi pesan yanglain

- Acak artinya tidak dapat diprediksi nilainya dan tidak dapat diulang pembangkitannya

- Akibat 1 dan 2: plainteks yang sama tidak selalu menghasilkan cipherteks yang sama

One-Time Pad (OTP)

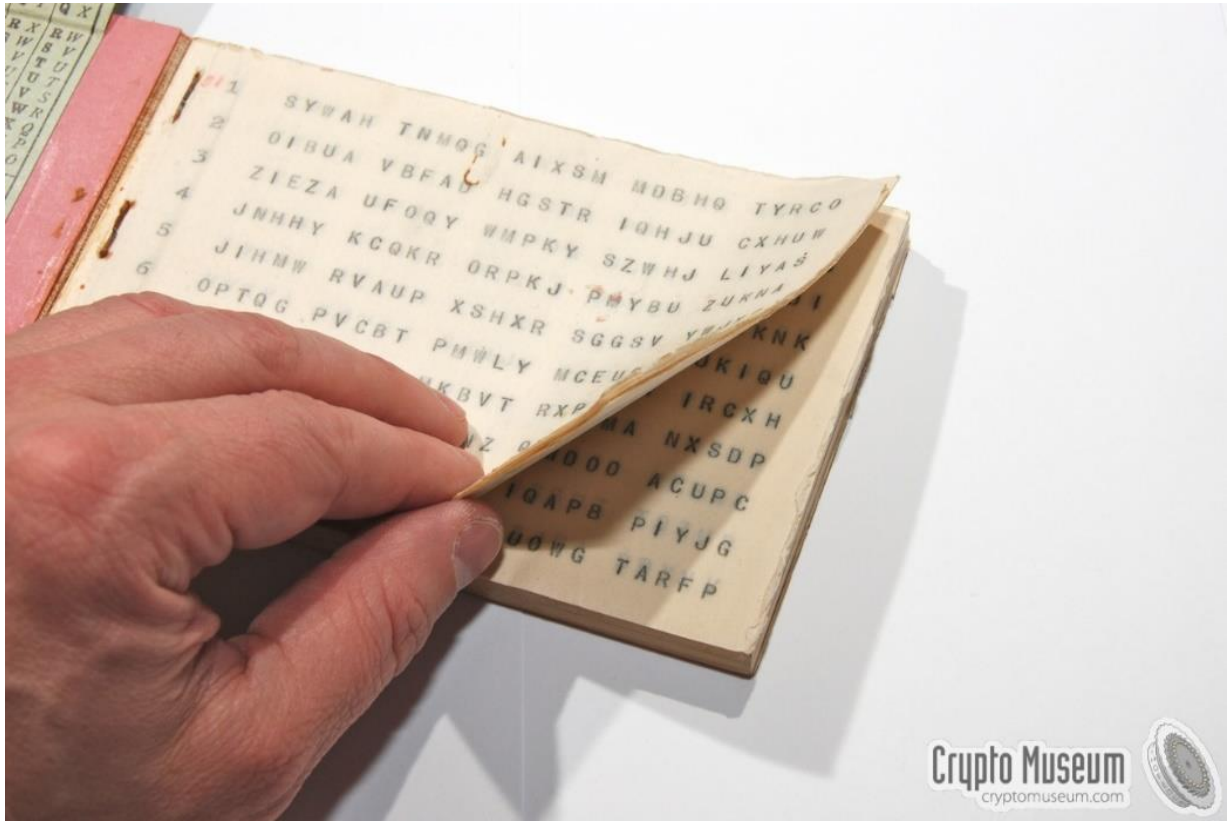
- Satu-satunya algoritma kriptografi sempurna aman (*perfect secrecy*) sehingga tidak dapat dipecahkan adalah *one-time pad (OTP).*

- OTP ditemukan pada tahun 1917 oleh Major Joseph Mauborgne →

- OTP mengatasi kelemahan pada *Vigenere Cipher. Vigenere Cipher* mengulang penggunaan kunci secara periodik → mudah ditemukan dengan metode Kasiski.
- Pada OTP, panjang kunci = panjang plainteks

Plainteks: `otpadalahcipheryangtidakbisadipecahkan`
Kunci: `trjkdndkdwerylgrgdkopcegyhbdwjbtrfhgvk`

- *One-time pad* (*pad* = kertas bloknot) berisi deretan huruf-huruf kunci yang dibangkitkan secara acak.



Sumber: https://www.cryptomuseum.com/crypto/otp/index.htm

```
CIHJT UUHML FRUGC ZIBGD BQPNI PDNJG LPLLP YJYXM
DCXAC JSJUK BIOYT MWQPX DLIRC BEXYK VKIMB TYIPE
UOLYQ OKOXH PIJKY DRDBC GEFZG UACKD RARCD HBYRI
DZJYO YKAIE LIUYW DFOHU IOHZV SRNDD KPSSO JMPQT
MHQHL OHQQD SMHNP HHOHQ GXRPJ XBXIP LLZAA VCMOG
AWSSZ YMFNI ATMON IXPBY FOZLE CVYSJ XZGPU CTFQY
HOVHU OCJGU QMWQV OIGOR BFHIZ TYFDB VBRMN XNLZC
```

- Pengirim dan penerima pesan memiliki salinan (*copy*) *pad* yang sama.

- Satu *pad* hanya digunakan sekali (*one-time*) saja untuk mengenkripsi pesan

  → itulah mengapa dinamakan *one-time pad*.

- Sekali *pad* telah digunakan, ia dihancurkan supaya tidak dipakai kembali untuk mengenkripsi pesan yang lain

  → menyulitkan kriptanalisis

Plainteks: otpadalahcipheryangtidakbisadipecahkan

Kunci: trjkdndkdwerylgrgdkopcegyhbdwjbtrfhgvk

Cipherteks: HKYKGNOKKYMGFPXPGQQHXFEQZPTDZRQXTFOQVX

- Aturan enkripsi dan dekripsi yang digunakan persis sama seperti pada *Vigenere Cipher*, bedanya tidak ada perulangan kunci secara periodik.

- Enkripsi: $c_i = (p_i + k_i) \bmod 26$

  Contoh: $c_2 = (t + r) \bmod 26 = (19 + 17) \bmod 26 = 36 \bmod 26 = 10 =$ ‘K’

- Dekripsi: $p_i = (c_i - k_i) \bmod 26$

  Contoh: $p_2 = (K - t) \bmod 26 = (10 - 17) \bmod 26 = -7 \bmod 26 = 19 =$ ‘t’

- **Contoh 1**:

  Plainteks: `onetimepad`

  Kunci: `tbfrgfarfm`

  Misalkan `A` = 0, `B` = 1, …, `Z` = 25.

  cipherteks: `HOJKOREGHP`

  yang dalam hal ini diperoleh sebagai berikut:

  (`o` + `T`) mod 26 = `H`

  (`n` + `B`) mod 26 = `O`

  (`e` + `F`) mod 26 = `J`, dst

- **Contoh 2:**

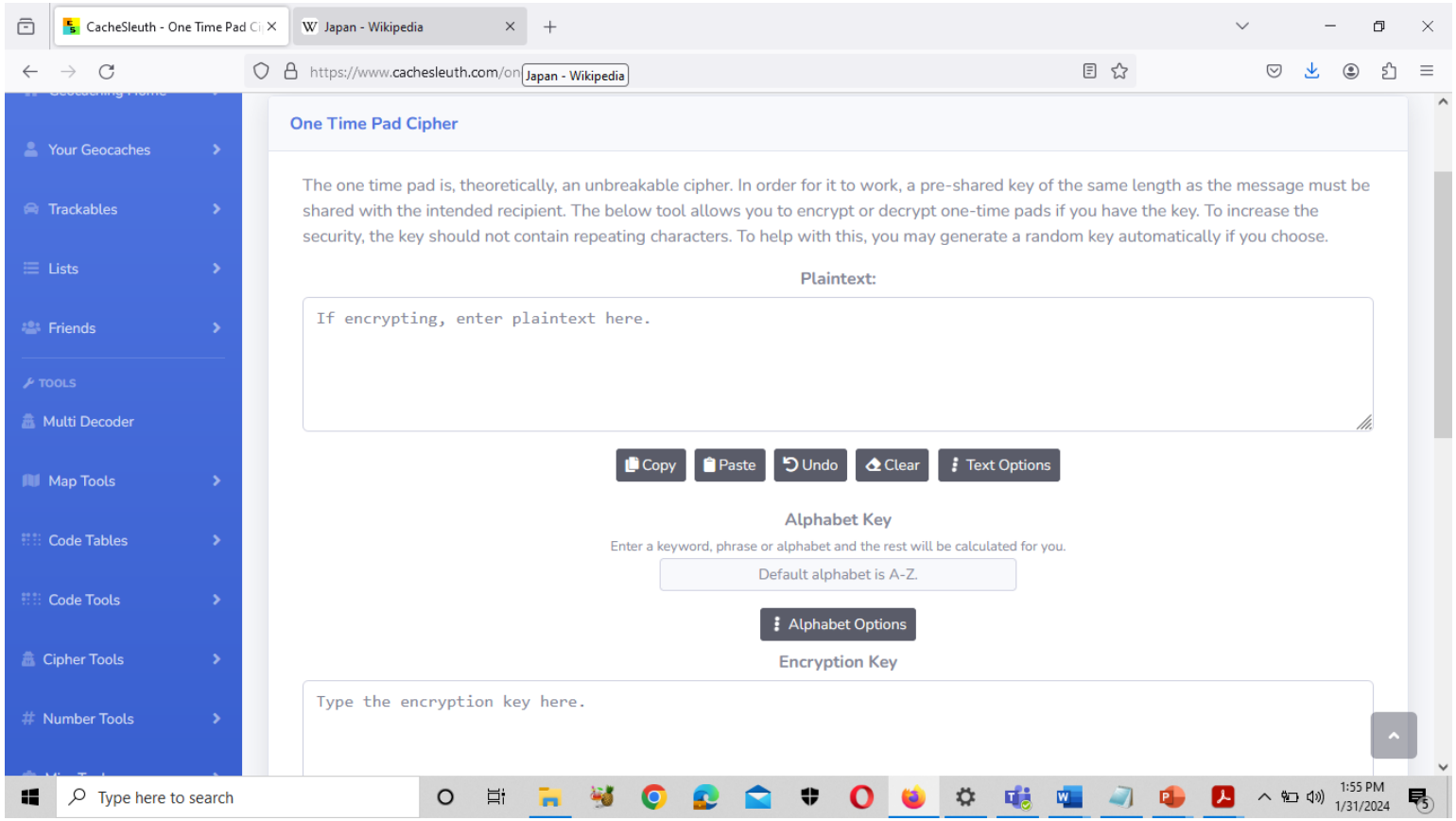
  Plainteks: `nantimalamsayatunggukamudidepanwarungkopi`

  Kunci: `gtrskncvbrwpoatqljfmxtrpjsrzolfhtbmaedpvy`

  Cipherteks: `TTELSZCGBDOPMAMKYPLGHTDJMAUDDLSDTSGNKNDKG`

Demo One Time Pad Onlie

- https://www.cachesleuth.com/onetimepad.html



- Kunci untuk OTP harus seluruhnya acak dan sepanjang pesan.

- Bagaimana jika kunci diambil dari teks yang panjang (misalnya tulisan di dalam novel, buku, berita, dan sebagainya)?

  - ini bukan lagi OTP (sebab tulisan di buku/novel/berita bukan acak)

  - tidak menghasilkan *perfect secrecy*

  - dapat dipecahkan

- Kunci di dalam OTP hanya dipakai sekali dan tidak pernah digunakan kembali. Bagaimana jika kunci dipakai untuk kedua kalinya?

  - ia bukan lagi *one-time pad*, tetapi *two-time pad*

  - tidak aman

- ***OTP* ini tidak dapat dipecahkan karena:**

  1. Kunci acak + plainteks yang tidak acak = cipherteks yang seluruhnya acak.

     Enkripsi: $c_i = (p_i + k_i) \bmod 26$
     Dekripsi: $p_i = (c_i - k_i) \bmod 26$

  2. Hanya terdapat satu kunci yang memetakan plainteks ke cipherteks, begitu juga sebaliknya.

- Mendekripsi cipherteks dengan beberapa kunci berbeda dapat menghasilkan plainteks yang bermakna, sehingga kriptanalis kesulitan menentukan plainteks mana yang benar.

- **Contoh 3**: Misalkan kriptanalis mencoba kunci `LMCCAWAAZD` untuk mendekripsi cipherteks `HOJKOREGHP`
  Plainteks yang dihasilkan: `SALMONEGGS`

  Bila ia mencoba kunci: `ZDVUZOEYEO`
  Plainteks yang dihasilkan: `GREENFIELD`

  Kriptanalis: ??????? (bingung sendiri ☺)

- Contoh ini menunjukkan bahwa untuk sembarang plainteks dan cipherteks hanya ada satu kunci yang memetakannya satu sama lain.

- Sebagai latihan, misalkan diberikan sebuah cipherteks:

  TLCYKUMGDFAWTZVOYKLENSZZHYZRW

temukan kunci yang menghasilkan plainteks:

mr johnson left his house last night

lalu temukan kunci lain yang menghasilkan plainteks

i saw the mysterious plane behind me

Perfect Secrecy


Claude Shannon

- *Perfect secrecy*: Cipherteks tidak menyediakan informasi apapun tentang plainteks maupun kunci.

- Pada tahun 1949, Claude Shannon dari Laboratorium Bell membuktikan bahwa OTP memiliki *perfect secrecy.*

Pembuktian dari Shannon adalah sebagai berikut:

- Tiap karakter pada kunci yang *trully random* diasumsikan dipilih secara independen (independen dari plainteks atau cipherteks)
- Misalkan x adalah plainteks, dan misalkan r adalah karakter yang berkoresponden dengan karakter kunci.
- Cipherteks y = (x + r) mod 26 adalah karakter yang acak, sehingga x tidak dapat diprediksi dari y. qed

Kelemahan OTP

- Meskipun OTP menawarkan keamanan yang sempurna, tetapi ia tidak umum digunakan dalam aplikasi praktis (aplikasi komersil maupun aplikasi lainnya).

- Alasan:

  1. Tidak sangkil, karena panjang kunci = panjang pesan.
     Makin panjang pesan, makin besar ukuran kuncinya. Butuh komputasi yang berat untuk membangkitkan milyaran karakter-karakater yang benar-benar acak.

  2. Karena kunci dibangkitkan secara acak, maka 'tidak mungkin' pengirim dan penerima membangkitkan kunci yang sama secara bersamaan.

- Untuk menggunakan OTP, pengirim dan penerima harus menyepakati kunci yang digunakan, kunci harus sepanjang pesan.

- Hal ini sulit dilakukan secara praktek.

- *OTP* hanya dapat digunakan jika tersedia saluran komunikasi kedua yang sangat aman untuk mengirim kunci.

- Saluran kedua ini tidak boleh sama dengan saluran untuk mengirim pesan.

- Saluran kedua ini umumnya lambat dan mahal (misalnya lewat jalur darat, memakai kurir terpercaya dan tidak bisa dikenali).

- Atau, kunci dikirim pada saluran yang sama dengan saluran pengiriman pesan tetapi pada waktu yang berbeda dengan pengiriman pesan.

OTP digunakan oleh mata-mata (*spy*) selama Perang Dunia II

Pejabat eksekutif operasi khusus dari Inggris memperlihatkan syal yang bertuliskan kunci OTP selama PD II

Sumber: John H Reif, History of Computing, Duke University

Penggunaan OTP pada perang dingin antara AS dan Uni Soviet

The Moscow–Washington hotline [1963]:

- **Komunikasi antara AS dan Uni Soviet menggunakan hotline komunikasi langsung antara pemimpin AS dan Uni Soviet.**
- **Hotline difasilitasi dengan peralatan OTP yang bernama ITT Intelex Teletype L015**

- **ITT Intelex Teletype dikembangkan setelah krisis rudal Cuba untuk menghindari perang nuklir**

- **ITT Intelex Teletype mengenkripsi pesan menggunakan OTP**
  - Kunci *one-time pad* disimpan di dalam pita magnetic yang diterbangkan antara Washington DC dan Moscow.

ITT Intelex Teletype L015 used for original Moscow–Washington hotline
(Lyndon Baines Johnson Library and Museum)

The Pentagon in Arlington County, Virginia, U.S.

Kremlin in Moscow, Russia

Sumber: John H Reif, History of Computing, Duke University

- *As a practical person, I've observed that one-time pads are theoretically unbreakable, but practically very weak. By contrast, conventional ciphers are theoretically breakable, but practically strong." -* ***Steve Bellovin***