Bahan Kuliah II4021 Kriptografi

Kriptografi Visual, Teori dan Aplikasinya (Bag. 2)

Oleh:
Rinaldi Munir

Visual Cryptography

Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi
STEI - ITB

Skema (2, *n*)

- Satu gambar dibagi menjadi *n* buah *share*
- Untuk mendekripsi, diperlukan dua buah *share*

C_0 = { seluruh matriks hasil permutasi kolom $\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$ }

C_1 = { seluruh matriks hasil permutasi kolom $\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$ }

Skema (3, 3)

- Satu gambar dibagi menjadi 3 buah *share*
- Untuk mendekripsi, diperlukan 3 buah *share*

C_0 = { seluruh matriks hasil permutasi kolom $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ }

C_1 = { seluruh matriks hasil permutasi kolom $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Skema (3, *n*)

- Satu gambar dibagi menjadi *n* buah *share*
- Untuk mendekripsi, diperlukan 3 buah *share*
- Misalkan:

  B = matriks n x 1 yang bernilai 1 seluruhnya

  I = matriks identitas n x n (diagonal utama = 1)

  BI = matriks hasil penggabungan B dan I

  $c(BI)$ = matriks komplemen dari BI
- Maka,

  C_0 = {seluruh matriks hasil permutasi kolom dari $c(BI)$ }

  C_1 = {seluruh matriks hasil permutasi kolom dari BI }

Contoh: n = 3 → Skema (3, 3)

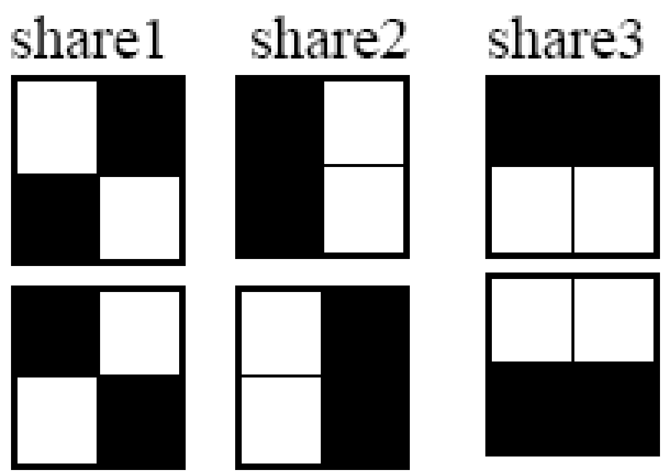
$$B: \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad I: \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad BI: \overset{\textbf{BLACK}}{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}} \quad c(BI): \overset{\textbf{WHITE}}{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}}$$

Misalkan permutasinya adalah {2, 3, 4, 1 }

$$\text{putih} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad \text{hitam} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

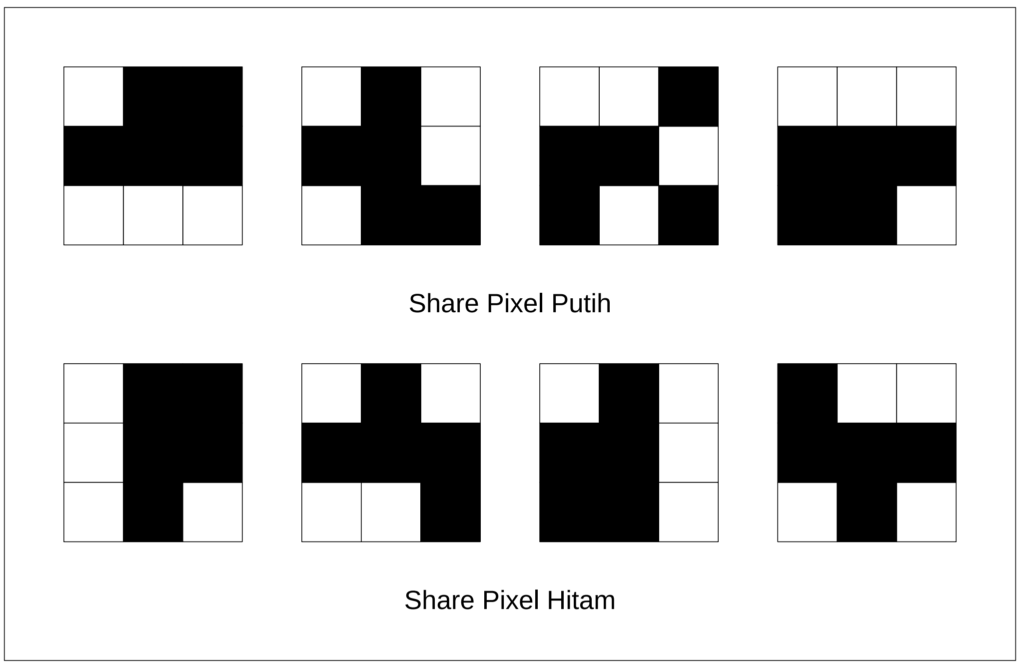
Shares

- White Pixel
- Black Pixel



Skema(4, 4)

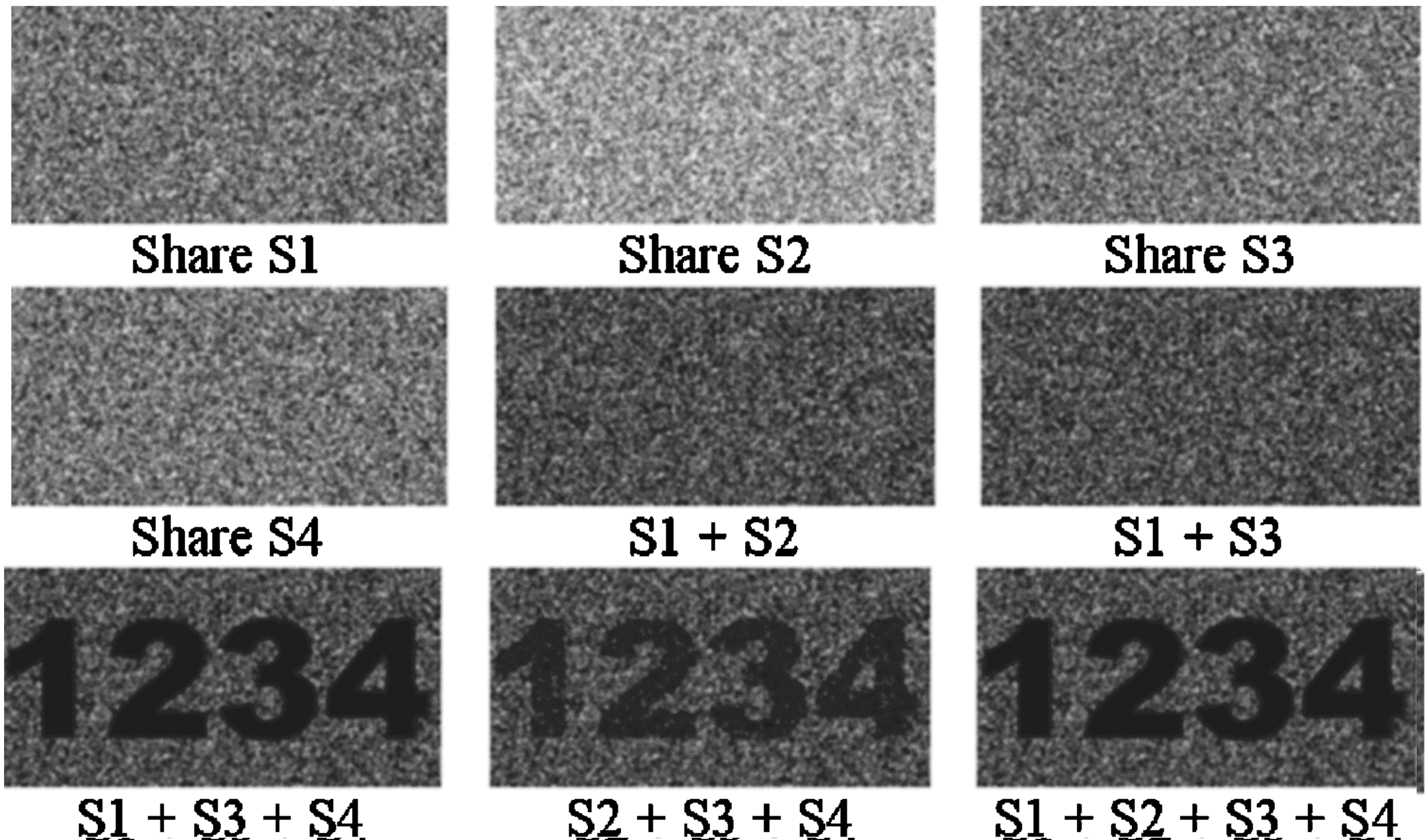
- Satu gambar dibagi menjadi 4 buah *share*
- Untuk mendekripsi, diperlukan 4 buah *share*



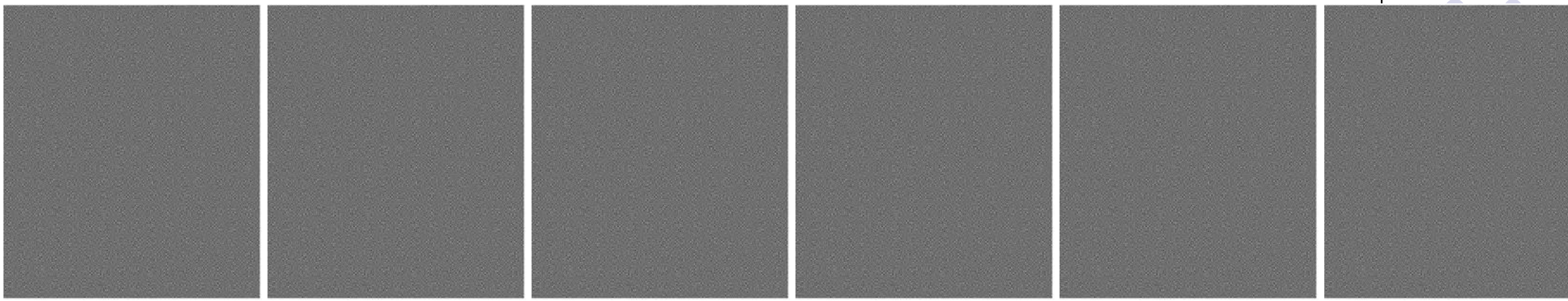
Skema (*k*, *n*)

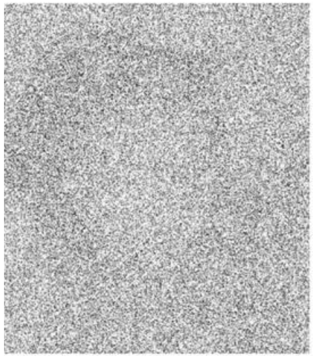
- Satu gambar dibagi menjadi *n* buah *share*
- Untuk mendekripsi gambar, diperlukan paling sedikit *k* buah *share*
- Jika jumlah *share* yang ditumpuk kurang dari *k*, maka tidak dapat menghasilkan gambar semula

Contoh: skema (3, 4)



Hasil bermacam-macam Skema (*k*, 6)





(2, 6)

(3, 6)

(4, 6)

(5, 6)

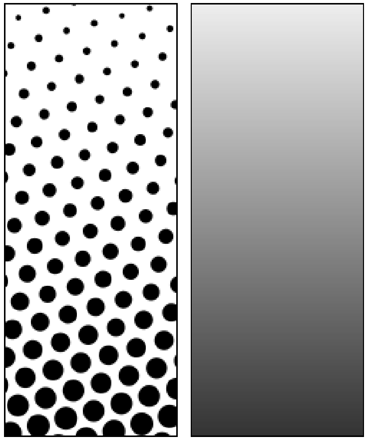
(6, 6)

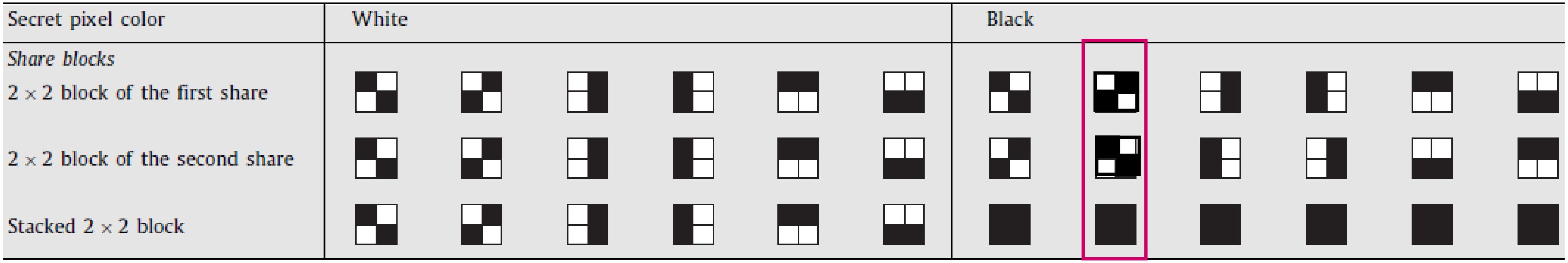
- Solusi kriptografi visual skema (k, n) dinyatakan valid jika memenuhi 3 syarat berikut:
    1. Untuk sembarang matriks S pada C_0, bobot Hamming untuk sejumlah k dari n baris memenuhi $H(V) \leq d - \alpha m$.
    2. Untuk sembarang matriks S pada C_1, bobot Hamming untuk sejumlah k dari n baris memenuhi $H(V) \geq d$.
    3. Untuk sembarang *subset* $\{i_1, i_2, ..., i_q\}$ dari $\{1, 2, ..., n\}$, $q < k$, dua buah kumpulan matriks berukuran $q \times m$, yakni D_0 dan D_1, yang diperoleh dari hasil *restricting* masing-masing matriks berukuran $n \times m$ dari C_0 dan C_1 pada baris-baris $i_1, i_2, ..., i_q$ tidak dapat dibedakan satu sama lainnya karena memiliki matriks yang sama dengan frekuensi yang sama.

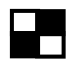
- Syarat ke-1 dan ke-2 menyatakan kontras, sedangkan syarat ke-3 menyatakan keamanan. Syarat 3 artinya dengan menumpuk *share* sejumlah kurang dari k buah, citra semula tidak dapat didekripsi.

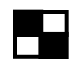
Kriptografi Visual untuk Citra *Grayscale*

- Citra *grayscale* diubah terlebih dahulu menjadi citra *halftone* (*halftone image*)
- *Halftone image:* teknik reproduksi citra yang mensimulasikan citra yang memiliki level keabuan yang kontinu dengan menggunakan titik-titik (*dot*) yang bervariasi ukuran dan jarak spasi antar titik.



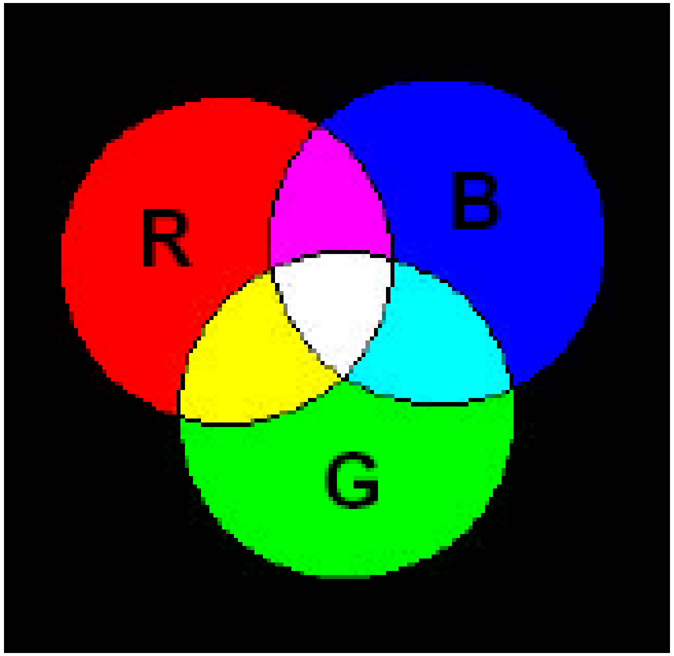




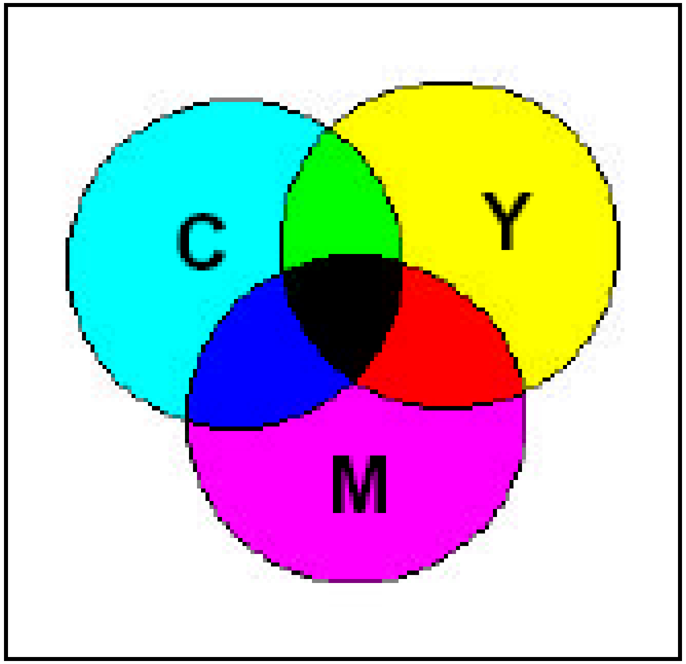


Share 1 Share 2

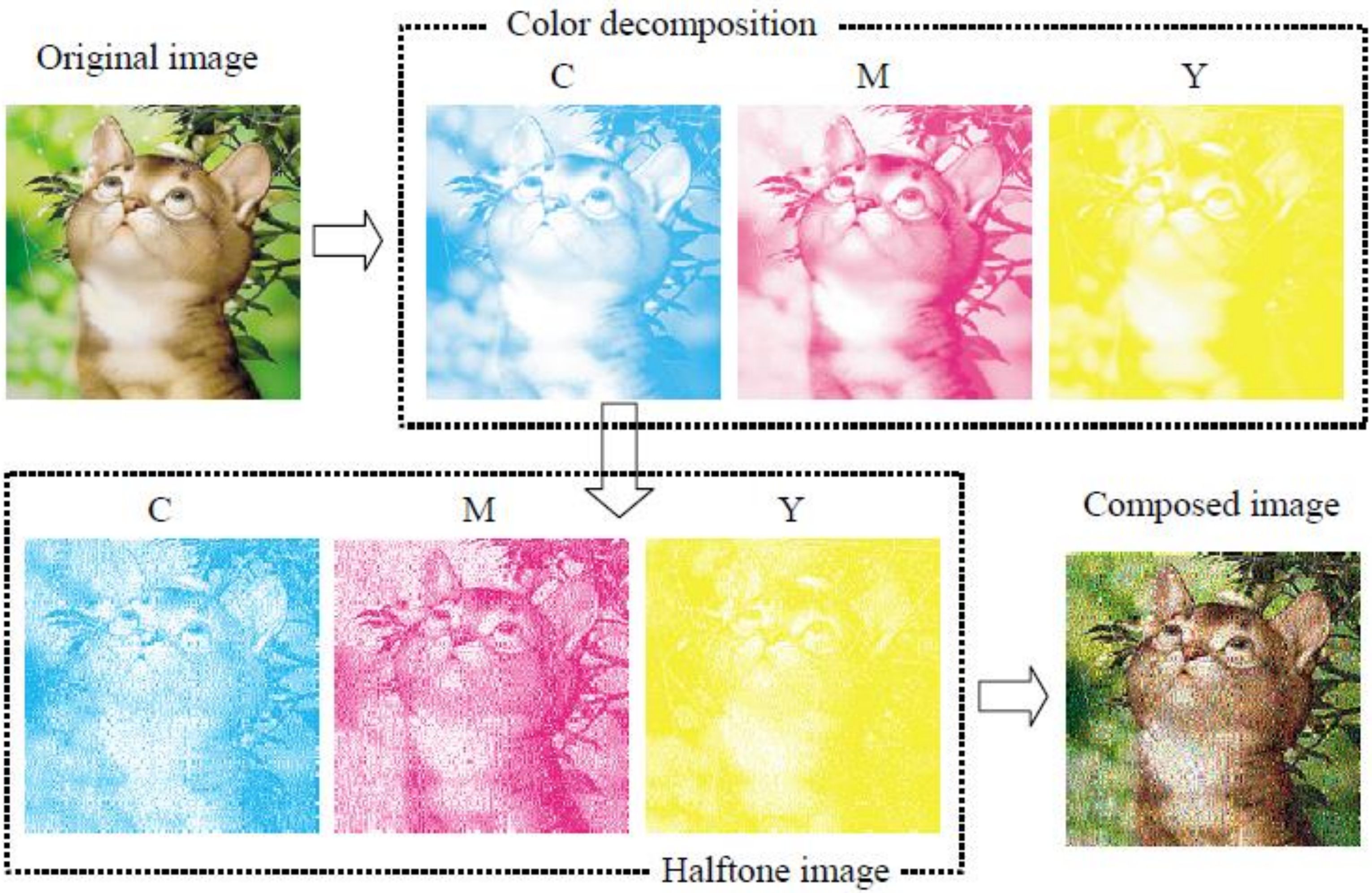
Kriptografi visual untuk Citra Berwarna

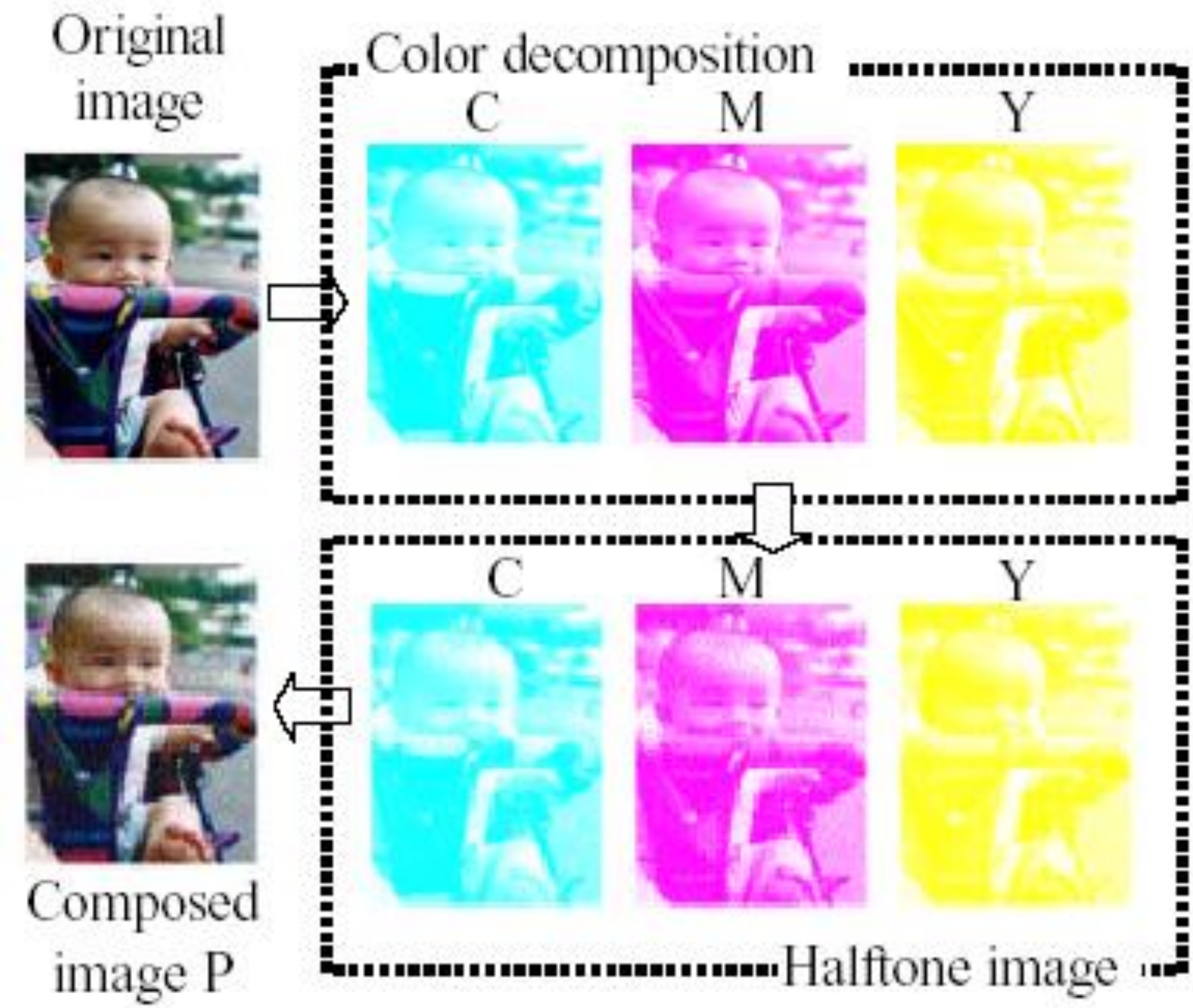


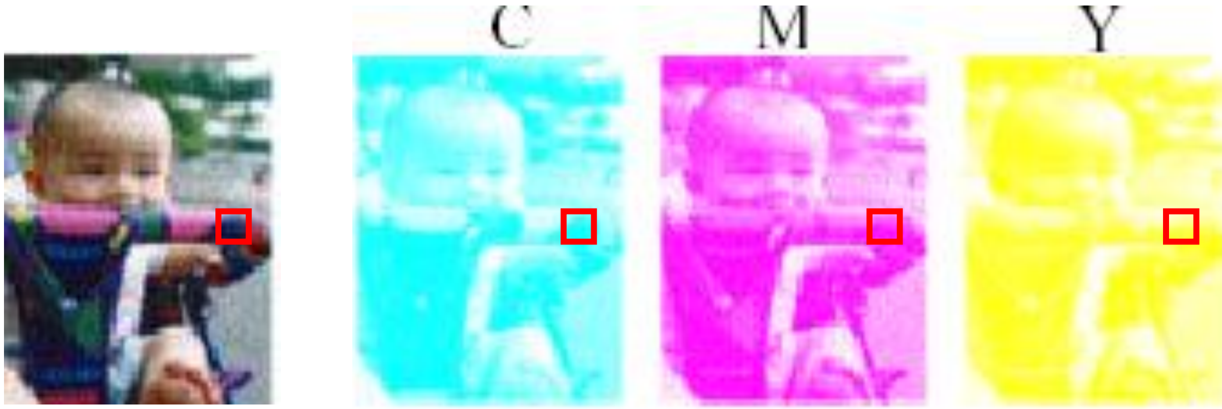
RGB: TV dan monitor

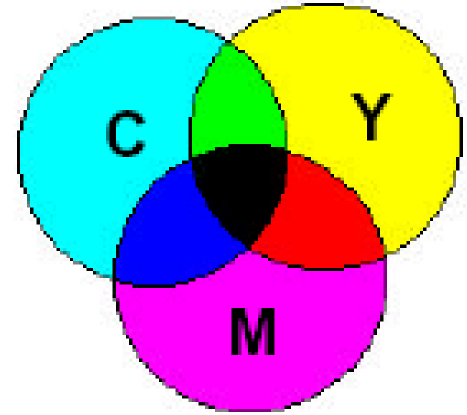


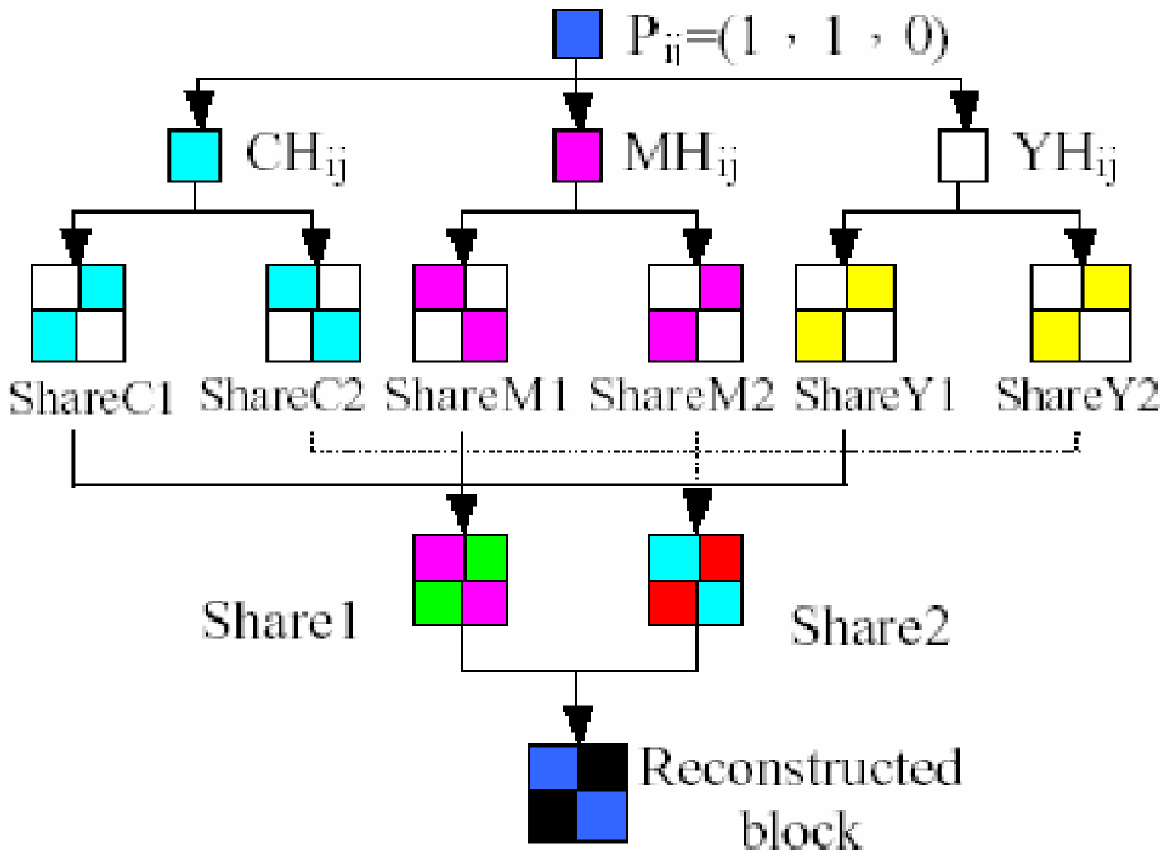
CMY: Warna hasil cetakan

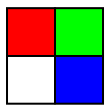
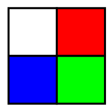
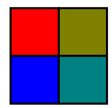
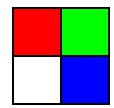
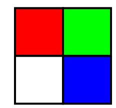
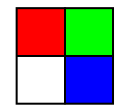
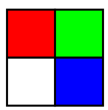
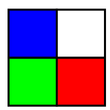
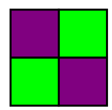
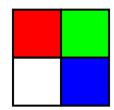
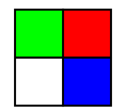
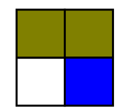
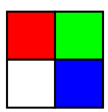
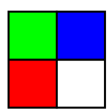
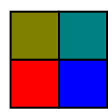
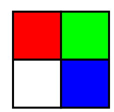
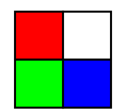
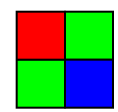

Original image
Color decomposition
C
M
Y
C
M
Y
Halftone image
Composed image


Original image
Color decomposition
C
M
Y
C
M
Y
Composed image P
Halftone image


C
M
Y


C
Y
M


P_{ij}=(1, 1, 0)
CH_{ij}
MH_{ij}
YH_{ij}
ShareC1
ShareC2
ShareM1
ShareM2
ShareY1
ShareY2
Share1
Share2
Reconstructed block

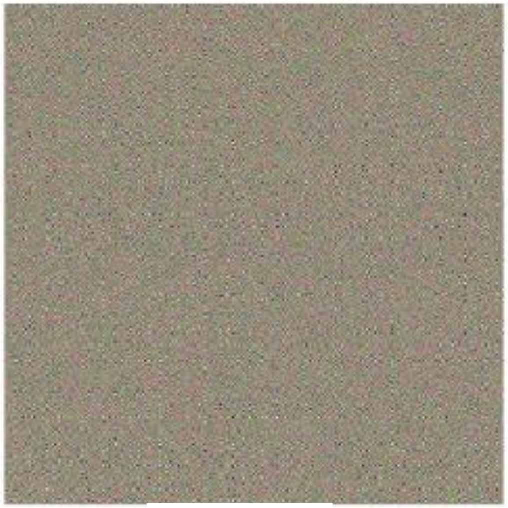
Share 1	Share 2	Hasil tumpukan	Share 1	Share 2	Hasil tumpukan
					
					
					

Share 1

Share 2

Hasil tumpukan

Share 1



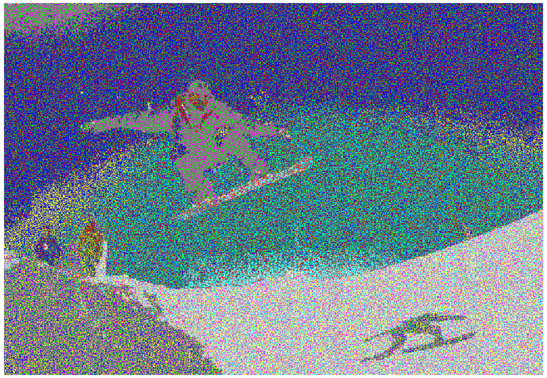
Share 2

Hasil tumpukan

Original image

Share 1

Share 2



Hasil tumpukan

Algoritma Kriptografi Visual dengan Fungsi XOR

- Kriptografi visual untuk citra berwarna
- Tidak melakukan pembagian *pixel* menjadi *sub-pixel*.
- Ukuran *share* sama dengan ukuran citra semula
- Citra hasil dekripsi tepat sama dengan citra semula.
- Skema (n, n)
- Operator: XOR (dilambangkan dengan ⊕)

Original
Image

Red

Green

Blue

pixel

150	1 0 0 1 0 1 1 0
100	0 1 1 0 0 1 0 0
50	0 0 1 1 0 0 1 0

150 | 1 0 0 1 0 1 1 0 |

Contoh 2 buah share:

100	0 1 1 0 0 1 0 0
226	1 1 1 0 0 0 1 0

Perhatikan:

0 1 1 0 0 1 0 0 $\oplus$ 1 1 1 0 0 0 1 0 = 1 0 0 1 0 1 1 0

Algoritma enkripsi:

1. Misalkan *plain-image* adalah P, *share* yang dihasilkan adalah $A_1, \ldots, A_n$, dan matriks acak untuk membantu enkripsi, yakni $B_1, \ldots, B_{n-1}$. Semua matriks berukuran sama.
2. Skema (n,n) dapat dihasilkan dengan urutan:

$$A_1 = B_1$$
$$A_2 = B_1 \oplus B_2$$
$$\ldots$$
$$A_{n-1} = B_{n-2} \oplus B_{n-1}$$
$$A_n = B_{n-1} \oplus P$$

3. Seluruh citra *share* untuk skema (n,n) telah dihasilkan.

- Untuk merekonstruksi citra, dilakukan dengan meng-*XOR*-kan seluruh citra *share*, yang dijabarkan sebagai berikut:

$$A_1 \oplus A_2 \oplus A_3 \oplus \ldots \oplus A_{n-1} \oplus A_n$$

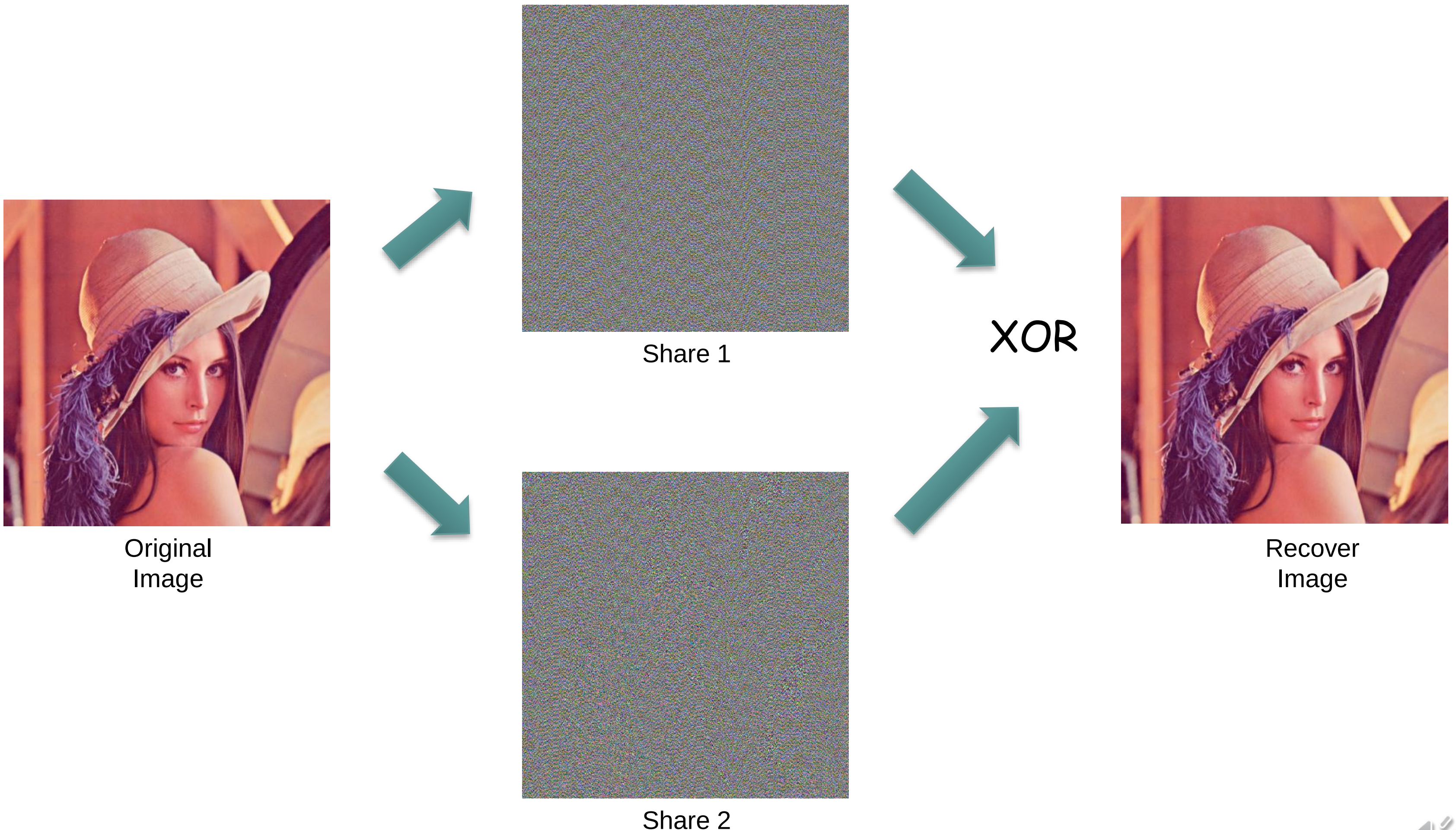
$$= B_1 \oplus (B_1 \oplus B_2) \oplus (B_2 \oplus B_3) \oplus \ldots \oplus (B_{n-2} \oplus B_{n-1}) \oplus B_{n-1} \oplus P$$

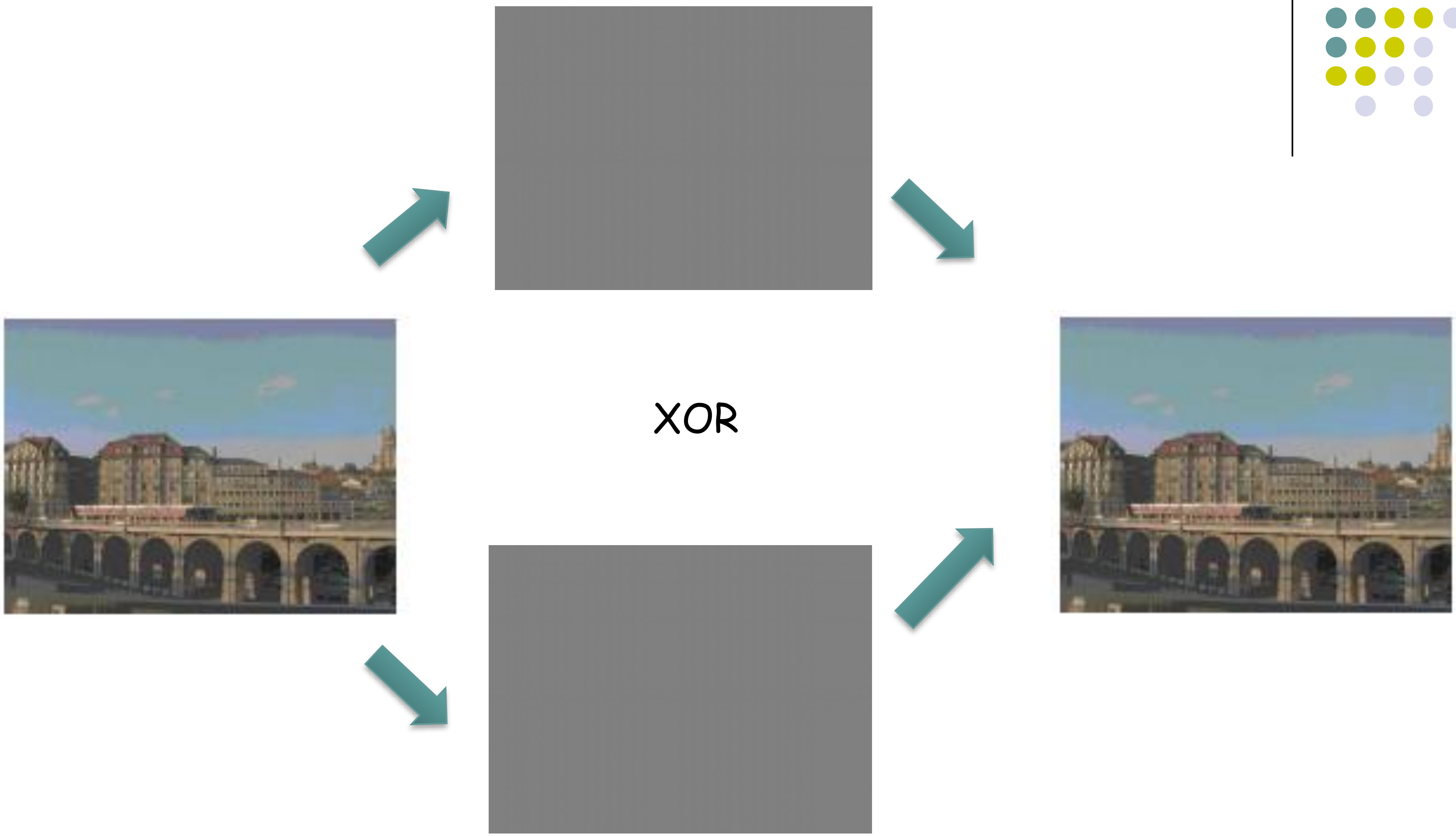
$$= (B_1 \oplus B_1) \oplus (B_2 \oplus B_2) \oplus B_3 \oplus \ldots \oplus B_{n-2} \oplus (B_{n-1} \oplus B_{n-1}) \oplus P$$

$$= (0 \oplus 0 \oplus \ldots \oplus 0) \oplus P$$

$$= 0 \oplus P$$

$$= P$$


Original
Image
Share 1
Share 2
XOR
Recover
Image

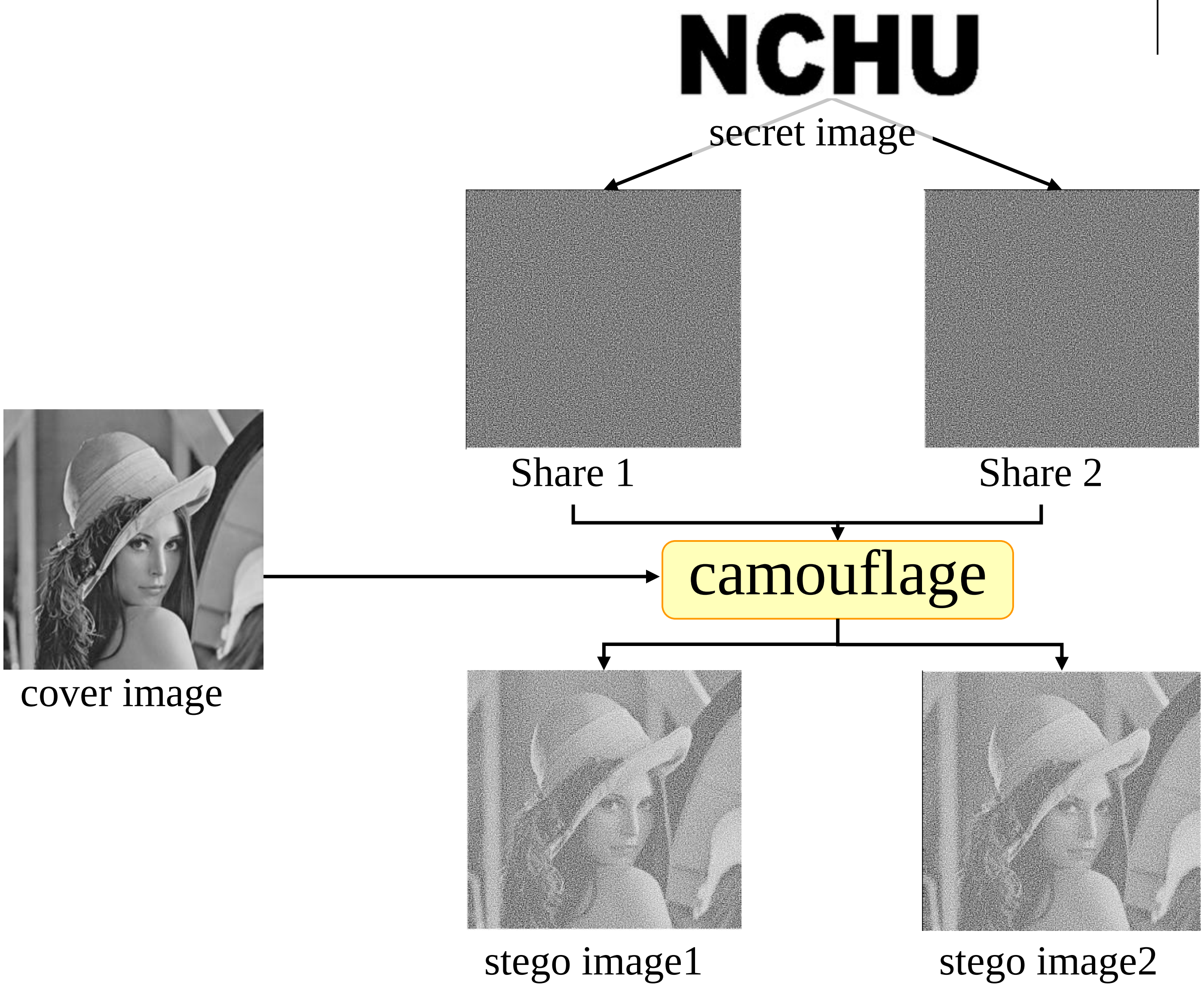

XOR

Kelemahan Kriptografi Visual

- Citra hasil dekripsi tidak tepat sama dengan citra asli.
- Citra hasil dekripsi mengandung *noise*.
- *Share* tidak memiliki makna → dapat menimbulkan kecurigaan bahwa gambar tsb merupakan pesan rahasia.

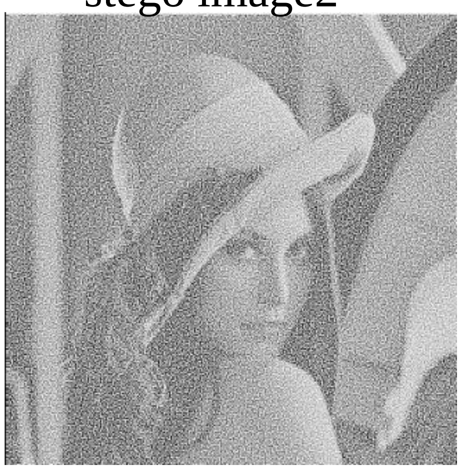
- Untuk menghilangkan kecurigaan, digunakan **steganografi** sebagai pelengkap kriptografi.
- Digunakan beberapa gambar lain sebagai *cover* untuk menyembunyikan *share*.
- *Share* + *cover* = *camouflage*

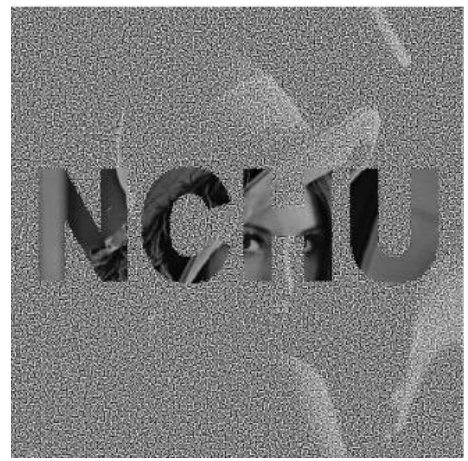
Teknik Camouflage



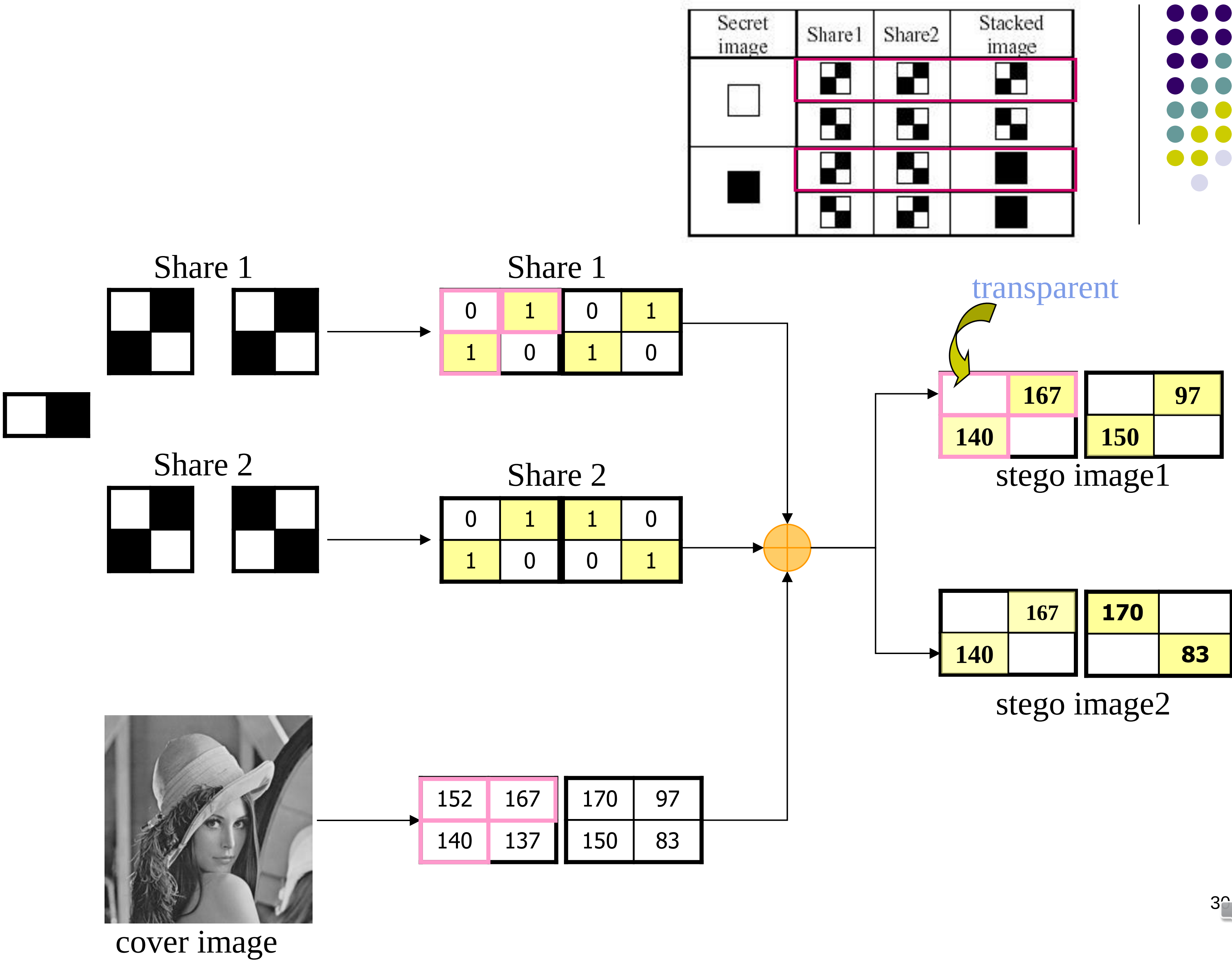
stego image1

stego image2





Stego image 1 + stego image 2


Secret image
Share1
Share2
Stacked image
Share 1
Share 2
Share 1
0 1 0 1
1 0 1 0
Share 2
0 1 1 0
1 0 0 1
transparent
167
140
97
150
stego image1
167
140
170
83
stego image2
152 167 170 97
140 137 150 83
cover image

stego image1

	167
140	

	97
150	

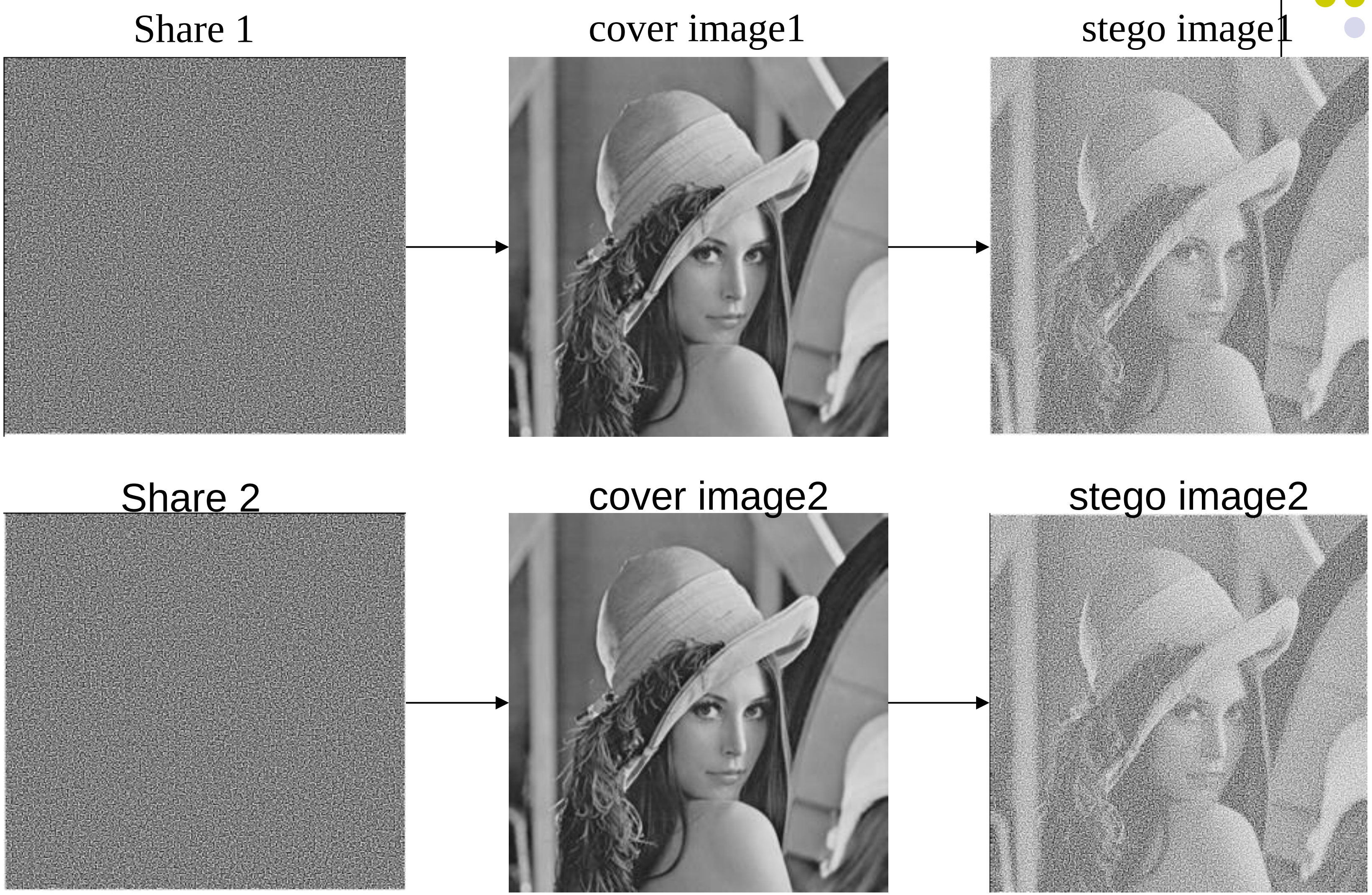
stego image2

	167
140	

170	
	83

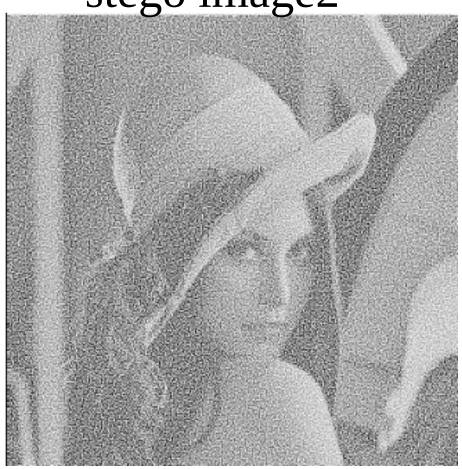
Stego image 1 + stego image 2

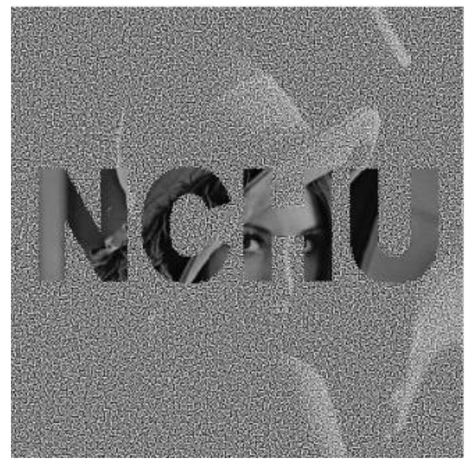
Contoh hasil eksperimen:



stego image1

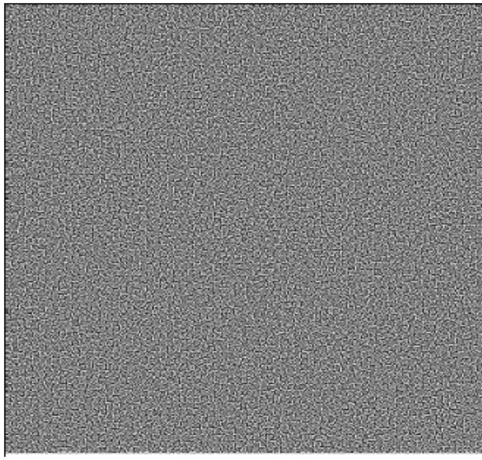
stego image2





Staego image 1 + stego image 2

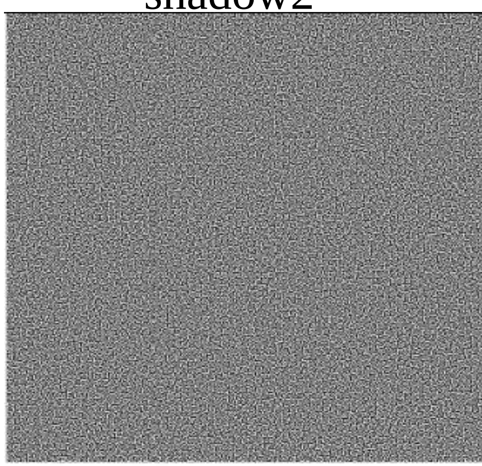
shadow1



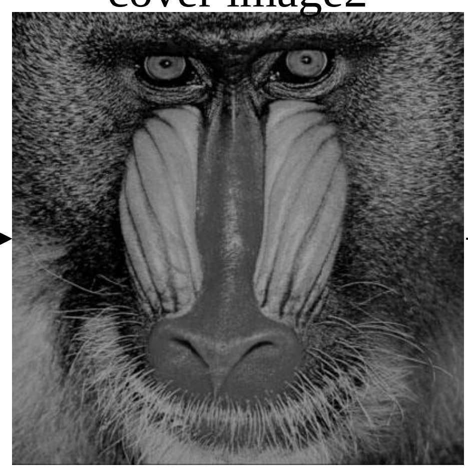
cover image1

stego image1

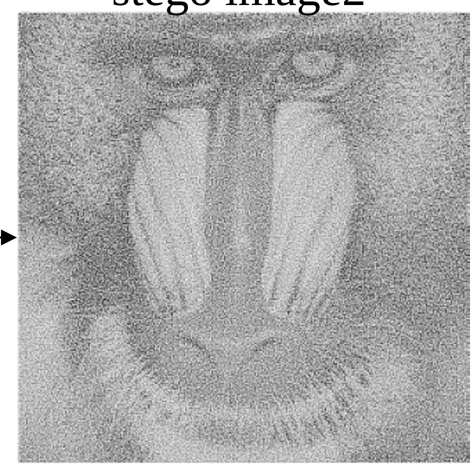
shadow2



cover image2

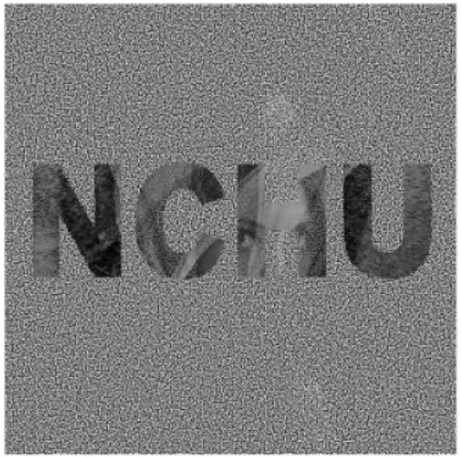


stego image2



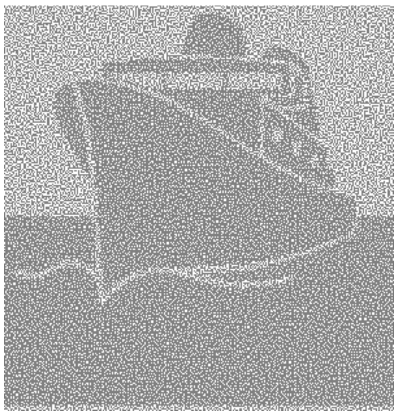
stego image1

stego image2



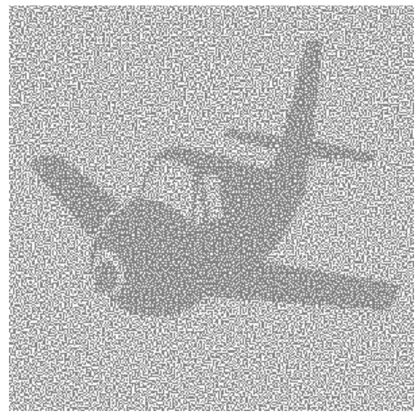
stacked result

- Contoh untuk citra biner



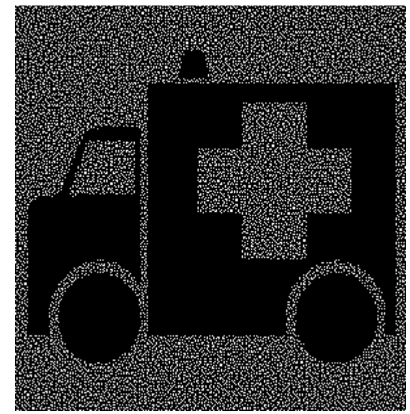
Stego image 1

+



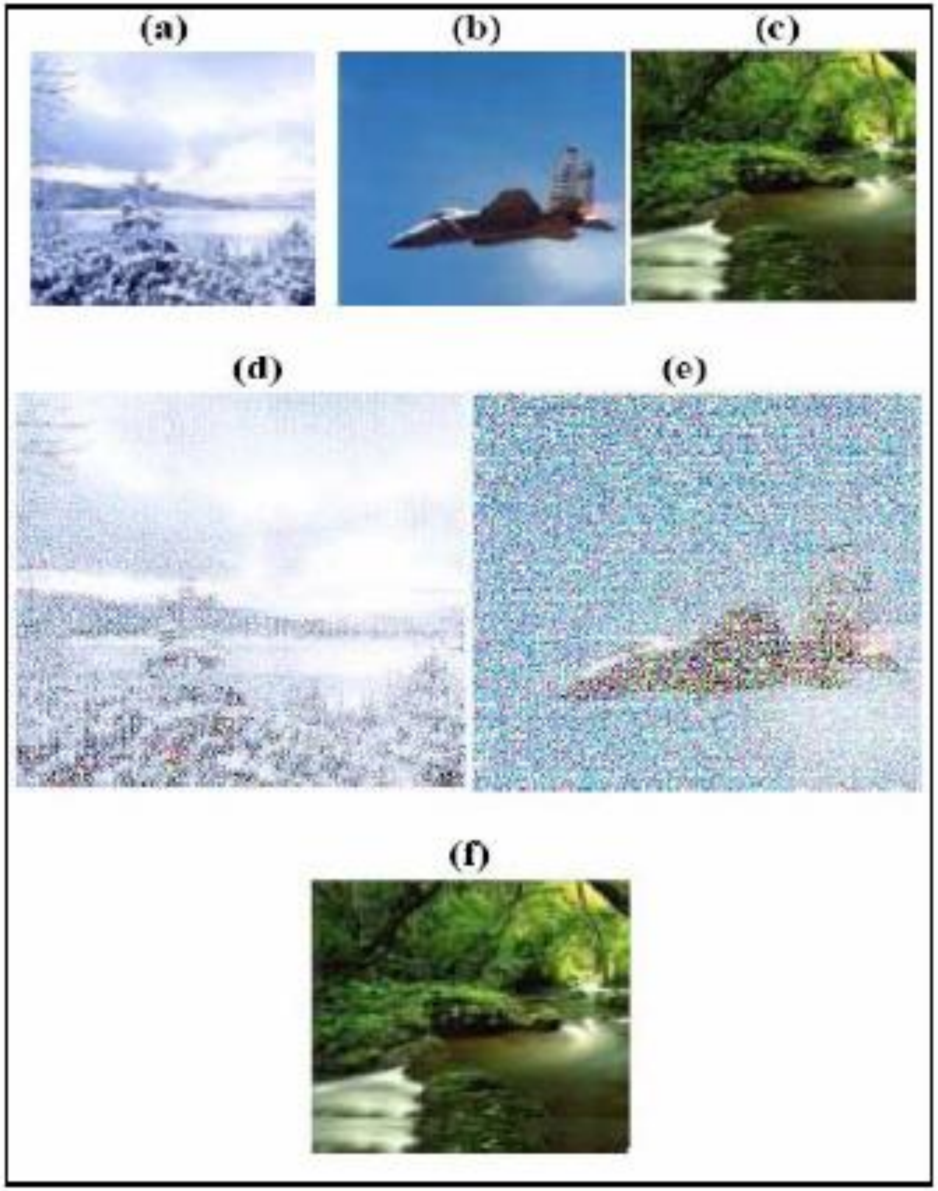
Stego image 2

=



Stego image 1 + stego image2

- Contoh untuk citra berwarna



Gambar 13 : Kriptografi Visual Chang dkk.

Keterangan:

(a) *cover 1*

(b) *cover 2*

(c) *Secret image*

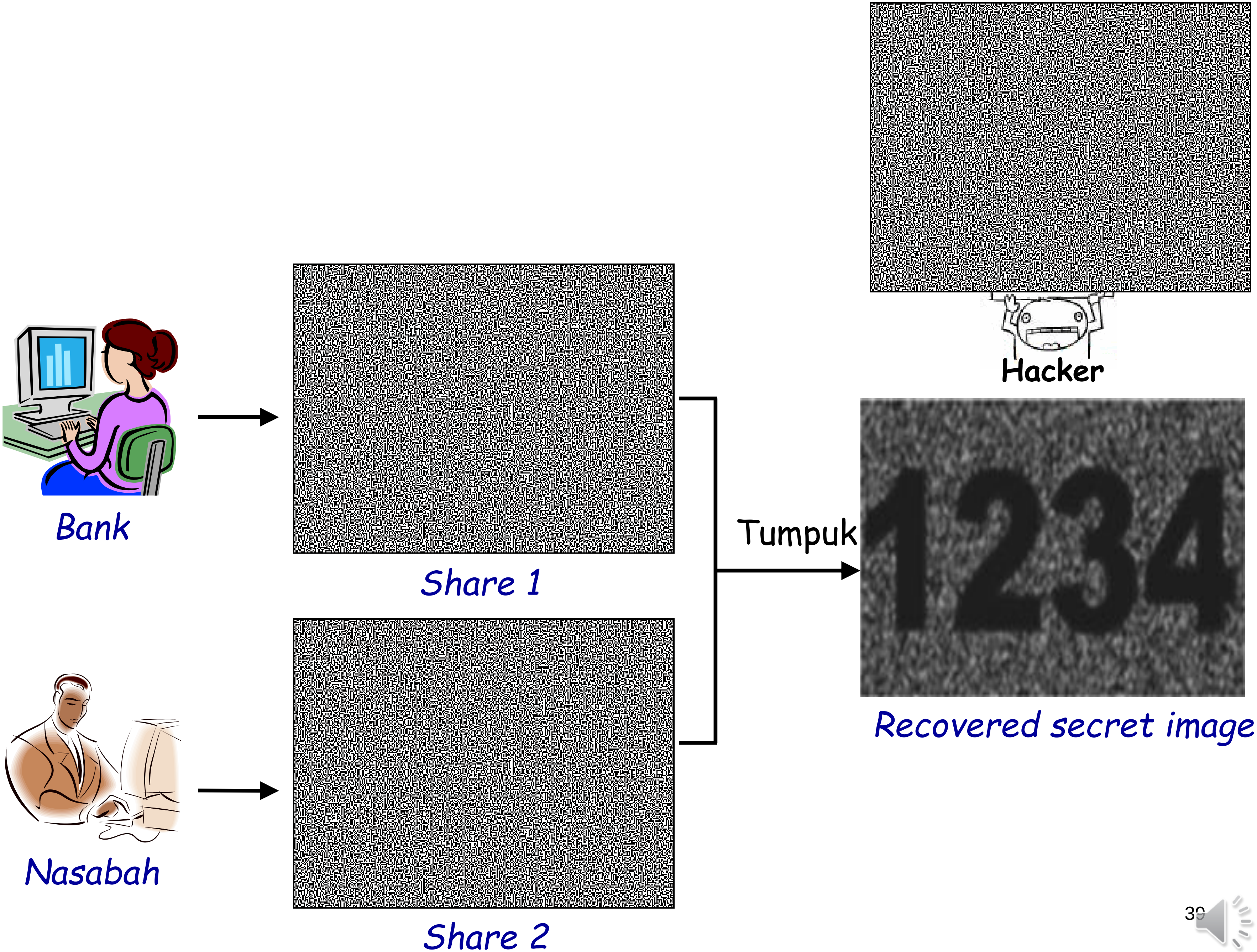
(d) *Share 1*

(e) *Share 2*

(f) Hasil dekripsi

Aplikasi Kriptografi Visual

1. **Otentikasi (*authentication*)**
   - Misalkan Bank mengirim kepada nasabah $n – 1$ buah *share* sebagai *share* kunci
   - Situs bank menampilkan sebuah *share*
   - Nasabah melakukan penumpukan, membaca tulisan yang muncul pada hasil tumpukan (yang menyatakan kunci transaksi)
   - Selanjutnya nasabah memasukkan kunci transaksi


Hacker
Bank
Share 1
Tumpuk
Recovered secret image
Nasabah
Share 2

2. ***Verifiable Receipts in Electronic Voting***

Menggunakan dua buah *share* sebagai kunci, satu untuk *voter* dan satu lagi untuk sistem.

3. ***Sharing confidential documents or keys***

Dokumen rahasia dibagi kepada beberapa orang sebagai *share*. Untuk membacanya diperlukan beberapa *share*.

Referensi

1. Arif Ramdhoni, *Kriptografi Visual pada Citra Biner dan Berwarna serta Pengembangannya dengan Steganografi dan Fungsi XOR*, Tugas Akhir Informatika ITB, 2008.
2. Rinaldi Munir, *Bahan Kuliah IF4020 Kriptografi*, Program Studi Informatika STEI-ITB, 2014.
3. Semin Kim, *Visual Cryptography, Advanced Information Security*, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), 2010.
4. Chin-Chen Chang, *Visual Cryptography*, National Tsing Hua University, Taiwan.
5. Kristin Burke, *Visual Cryptography*
6. Hossein Hajiabolhassan, *Visual Cryptography*, Department of of Mathematical Sciences Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 2009
7. Zhi Zhou, Gonzalo R. Arce, and Giovanni Di Crescenzo, *Halftone Visual Cryptography*, IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 15, NO. 8, AUGUST 2006, pp. 2441-2453

8. Salik Jamal and Warsi, Siddharth Bora, *Visual Cryptography*.
9. Jiangyi Hu, *Visual Cryptography*
10. Frederik Vercauteren, *Visual Cryptography*, University of Bristol, 2001
11. Ricardo Martin, Visual Cryptography: Secret Sharing without a Computer, GWU Cryptography Group, 2005

TAMAT