Analisa Algoritma SHA-256 Untuk Mendeteksi Orisinalitas Citra Digital

Imam Saputra¹, Surya Darma Nasution²

STMIK Budi Darma¹²

Jl. Sisingamangaraja No. 338, Medan – Sumatera Utara, (061) 7875998
saputraimam69@gmail.com¹, darmashadow@gmail.com²

Abstract-In the digital era, changing human habits, one of the changing habits is in applying for someone's job. Before the digital era, applying for a job by sending an application to the address of the destination company. In the digital era, as now, applying for jobs can be done boldly, and sent in softcopy. This softcopy file forms a digital image that can be easily manipulated. How would it be difficult for the receiving committee to determine the original file with the manipulated a file. With the existing questions, we need a technique that can be used to request the originality of the job application file. One technique that can be used is the hash function that exists in cryptography. The hash function is a one-way function that can be used to find a message. If applied to digital images, the originality of the image can be recognized. The algorithm in the hash function used is Secure Hash Algorithm 256 (SHA256) until now this algorithm cannot be solved by cryptanalysts. By applying the Secure Hash Algorithm 256 algorithm, it will make it easier and faster to access the originality of digital images.

Keywords : Hash Function, SHA-256, Cryptography, Digital Image

Abstrak-Di era serba digital telah mengubah kebiasaan manusia, salah satu kebiasaan yang berubah adalah dalam melamar suatu pekerjaan. Sebelum berada pada era digital, melamar pekerjaan dengan cara mengirimkan berkas lamaran ke alamat perusahaan yang dituju. Di era digital seperti sekarang ini melamar pekerjaan dapat dilakukan secara daring, dan berkas dikirim dalam bentuk softcopy. Berkas dalam bentuk softcopy ini berupa citra digital yang dapat dengan mudah dilakukan manipulasi. Sehingga akan menyulitkan panitia penerima lamaran kerja untuk membedakan berkas yang orisinal dengan berkas yang telah dimanipulasi. Dengan permasalahan yang ada maka dibutuhkan suatu teknik yang dapat digunakan untuk mendeteksi orisinalitas dari berkas lamaran kerja. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah dengan fungsi hash yang ada dalam kriptografi. Fungsi hash merupakan fungsi satu arah yang dapat digunakan untuk mengetahui otentikasi suatu pesan. Jika diterapkan pada citra digital maka dapat diketahui orisinalitas citra tersebut. Algoritma dalam fungsi hash yang digunakan adalah Secure Hash Algorithm 256 (SHA256), sampai saat ini algoritma ini belum dapat dipecahkan oleh kriptanalis. Dengan menerapkan algoritma Secure Hash Algorithm 256 akan memudahkan dan mempercepat untuk mendeteksi orisinalitas citra digital.

Kata Kunci : Fungsi Hash, SHA-256, Kriptografi, Citra Digital

1. PENDAHULUAN

Di era yang serba digital telah banyak mengubah kebiasaan dalam kehidupan sehari-hari, berkas-berkas dalam bentuk *hardcopy* sudah jarang digunakan karena memiliki banyak kelemahan. Salah satunya dalam hal pengiriman berkas yang membutuhkan waktu yang cukup lama. Sebelum adanya era digital ketika seseorang akan melamar suatu pekerjaan maka berkas lamarannya di kirim dalam bentuk *hardcopy*, tetapi setelah adanya era digital ini berkas lamaran pekerjaan

dapat dikirim melalui jaringan internet dalam bentuk *softcopy*. Dengan demikian maka proses pengiriman dengan waktu yang singkat. Dengan adanya keuntungan yang dimiliki oleh pengiriman berkas lamaran kerja yang dapat dikirim melalui jaringan internet juga memiliki banyak kelemahan, salah satunya adalah masalah keaslian berkas-berkas yang dikirim dalam bentuk *softcopy* tersebut. Berkas yang penting untuk diketahui keasliannya atau orisinalitas dari berkas tersebut adalah *softcopy* ijazah dan transkrip nilai. Tahapan awal yang dilakukan oleh panitia penerima lamaran kerja adalah seleksi berkas dengan cara menyeleksi berkas sesuai dengan persyaratan minimalnya. Untuk melakukan pengiriman berkas lamaran tersebut biasanya pelamar melakukan pemindaian ijazah ataupun transkrip nilai dan hasil dari pemindaian tersebut berupa citra digital. Apabila dilakukan perubahan ataupun manipulasi *softcopy* berkas yang dikirim oleh pelamar akan menyulitkan panitia untuk mengetahui keaslian atau *softcopy* berkas yang dikirimkan oleh para pelamar.

Saat ini ada banyak perangkat lunak dapat digunakan untuk memanipulasi citra digital. Dengan kecanggihan perangkat lunak tersebut bisa membuat citra digital yang dimanipulasi tidak memiliki kejanggalan sehingga sangat sulit untuk dideteksi melalui visual manusia. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara yang dapat digunakan mendeteksi keaslian atau orisinalitas dari citra hasil pemindaian berkas lamaran kerja tersebut. Setiap *file* digital memiliki *metadata* yang berisi informasi tentang *file* tersebut. *Metadata* dari *file* citra digital biasanya berisi resolusi citra, dimensi citra, tanggal pembuatan serta ukuran dari citra tersebut. Dengan adanya *metadata* tersebut dapat dimanfaatkan untuk menyimpan sebuah kode yang digunakan untuk mendeteksi orisinalitas atau keaslian dari citra tersebut. Jika ada perbedaan kode tersebut maka citra tersebut tidak otentik, ataupun telah terjadi perubahan pada citra tersebut. Untuk mendapatkan kode yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi keaslian dari citra digital maka dapat menggunakan fungsi *hash*. Fungsi *hash* dapat digunakan untuk mengecek keutuhan dari sebuah pesan dan juga otentikasi pesan tersebut, dalam hal ini pesan yang dimaksud dalam bentuk citra digital. Fungsi *hash* merupakan fungsi satu arah yang menghasilkan keluaran berupa nilai *hash* atau *message digest*. Salah satu fungsi *hash* yang bisa digunakan adalah SHA (*Secure Hash Algorithm*) yang dibuat oleh NIST. SHA-2 mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan SHA-1. SHA-2 memiliki 6 varian yaitu SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512, SHA-512/224, SHA-512/256 yang memiliki keluaran nilai *hash* 32 bit [1]. SHA-256 dapat diimplementasikan untuk mendeteksi keaslian citra digital dengan cara mengubah citra tersebut menjadi nilai *hash* sepanjang 32 bit. Algoritma SHA-256 memiliki tingkat kompleksitas yang sama dengan algoritma MD5 [2]. SHA-256 dapat diterapkan pada berbagai sistem, salah satunya dapat diterapkan untuk memverifikasi sistem yang berbasis FPGA [3].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Kerangka Penelitian

Metodologi penelitian ini digambarkan dalam bentuk kerangka kerja (*framework*). Kerangka kerja merupakan struktur konseptual dasar yang digunakan untuk memecahkan atau menangani suatu masalah yang kompleks. Berdasarkan pedoman dari langkah kerja inilah penelitian akan dilakukan.

Gambar 1. Kerangka Kerja

2.2. Citra Digital

Citra merupakan adalah representasi atau gambaran, kemiripan atau tiruan dari suatu objek [4]. Citra terbagi menjadi 2 bagian yaitu citra analog dan citra digital. Citra analog merupakan citra yang memiliki sifat kontinu, seperti gambar pada layar televisi, foto sinar-X, gambar yang tercetak di kertas, lukisan, pemandangan, hasil CT-scan, gambar-gambar yang tercetak pada pita kaset dan lain sebagainya [4]. Ada dua cara yang dapat digunakan untuk mengubah citra analog menjadi citra digital yaitu dengan cara sampling dan kuantisasi. Sampling merupakan transformasi citra kontinu menjadi citra digital menggunakan cara membagi citra analog menjadi M kolom dan N baris dan menjadi citra diskrit sedangkan kuantisasi adalah transformasi intensitas citra analog yang bersifat kontinu ke daerah intensitas diskrit.

Citra digital disimpan dalam bentuk bilangan biner. Secara umum citra digital adalah sebuah larik ataupun *array* dua dimensi yang berisi nilai-nilai bilangan real maupun bilangan kompleks yang digambarkan dengan deretan bit tertentu [5]. Secara matematis citra digital didefinisikan sebagai fungsi $f(x,y)$ yang berukuran M baris dan N kolom dengan sumbu x dan sumbu y adalah koordinat spasial dan f sebagai amplitudo di koordinat (x,y) yang dinamakan intensitas ataupun tingkat keabuan titik tersebut dan f bernilai diskrit [5].

2.3. Kriptografi

Jika ingin mengirimkan sebuah pesan maka pesan tersebut harus sampai kepada penerima dengan aman dan pesan tersebut tidak dapat dibaca oleh pihak yang tidak berwenang. Oleh sebab itu dibutuhkan sebuah teknik untuk mengamankan pesan tersebut yang disebut teknik kriptografi. Kriptografi adalah ilmu dan seni yang digunakan untuk menjaga keamanan pesan [6]. Kata seni yang dimaksud dalam pengertian kriptografi di atas berasal dari fakta dalam sejarah bahwa pada zaman dahulu setiap orang mempunyai cara tersendiri dan unik untuk dapat merahasiakan pesan yang akan disampaikan. Cara tersebut unik dan memiliki estetika sendiri sehingga kriptografi dapat berkembang sebagai seni untuk merahasiakan pesan.

2.4. Fungsi Hash

Fungsi satu arah sering disebut juga fungsi *hash*, *message digest*, *fingerprint*, kompresi dan *message authentication code*. Fungsi ini biasanya digunakan untuk mengambil sidik jari suatu pesan [7]. Fungsi *hash* adalah fungsi yang menerima masukan *string* dengan panjang sembarang dan mengonversinya menjadi *string* keluaran yang panjangnya tetap [6]. Pesan yang telah diubah menjadi *message digest* tidak dapat dikembalikan lagi menjadi pesan semula. Pesan yang berbeda akan menghasilkan nilai *hash* yang berbeda. Sifat dari *hash* adalah sebagai berikut:

- Fungsi H dapat diterapkan pada blok data berukuran berapa saja
- H menghasilkan nilai *hash* dengan panjang tetap
- $H(x)$ mudah dihitung untuk setiap nilai x yang diberikan
- Untuk setiap h yang diberikan, tidak mungkin menemukan x sedemikian sehingga $H(x)=h$
- Untuk setiap x yang diberikan, tidak mungkin mencari y tidak sama sedemikian sehingga $H(y)=H(x)$
- Tidak mungkin mencari pasangan x dan y sedemikian sehingga $H(x) = H(y)$

2.5.SHA-256

Secure Hash Algorithm (SHA) 256 merupakan fungsi *hash* yang umum digunakan, sampai saat ini belum ada yang dapat memecahkan algoritma fungsi *hash* SHA-256. Algoritma SHA-256 memiliki 8 langkah pengerjaan yaitu sebagai berikut [2]:

- Tambahkan bit *Padding*
Pesan diisi sehingga panjangnya kongruen dengan 448, modulus 512. *Padding* 1 bit ditambahkan di akhir pesan, diikuti oleh banyaknya nol yang diperlukan sehingga panjang bit sama dengan 448 modulus 512.
- Panjang *Append*
Representasi panjang pesan 64 bit ditambahkan pada hasil akhirnya, langkah ini untuk membuat panjang pesan kelipatan 512 bit.
- Parsing* Pesan
Pesan *padding* diuraikan menjadi N blok pesan 512 bit, $M(1)$, $M(2)$,... $M(N)$, dengan menambahkan blok 64 bit.
- Inisialisasi Nilai *Hash*
Nilai *hash* awal, $H(0)$ diatur, terdiri dari delapan kata 32 bit, dalam bentuk heksadesimal.

Tabel 1. Initial Hash Value

Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value
$H_0^{(0)}$	=6A09E667	$H_1^{(0)}$	=BB67EA85	$H_2^{(0)}$	=3C6EF372	$H_3^{(0)}$	=A54FF53A
$H_4^{(0)}$	=510E527F	$H_5^{(0)}$	=9B05688C	$H_6^{(0)}$	=1F83D9AB	$H_7^{(0)}$	=5BE0CD19

Sumber : Federal Information Processing Standards Publications, 2002 [8]

- Mempersiapkan jadwal pesan
SHA-256 menggunakan jadwal pesan enam puluh empat kata 32 bit, kata-kata dari jadwal pesan diberi label W_0 , W_1 , ..., W_{63} .

$$W_t = \begin{cases} M_t^{(t)} & 0 \leq t \leq 15 \\ \sigma_1^{(256)}(W_{t-2}) + W_{t-7} + \sigma_0^{(256)}(W_{t-15}) + W_{t-16}, & 16 \leq t \leq 63 \end{cases} \quad (1)$$

Di mana :

$$\sigma_1^{(256)}(W_{i-2}) = ((W_{i-2})ROTR\ 17) \oplus ((W_{i-2})ROTR\ 19) \oplus ((W_{i-2})SHR10) \quad (2)$$

$$\sigma_0^{(256)}(W_{i-15}) = ((W_{i-15})ROTR\ 7) \oplus ((W_{i-15})ROTR\ 18) \oplus ((W_{i-15})SHR3) \quad (3)$$

Keterangan:

W_t = Blok pesan yang baru
 M_t = Blok pesan yang lama
 W_{i-2} = Blok pesan dari W ke $i-2$
 W_{i-15} = Blok pesan dari W ke $i-15$
 $ROTR$ = Rotate Right
 SHR = Shift Right
 $\oplus$ = Operator XOR

- f. Inisialisasi delapan variabel kerja a, b, c, d, e, f, g , dan h dengan nilai hash (i-1)
 For $t = 0$ to 63

$$\{ T_1 = h + \sum_1^{(256)}(e) + Ch(e, f, g) + K_1^{(256)} + W_t \quad (4)$$

$$T_2 = \sum_0^{(256)}(a) + Maj(a, b, c) \quad (5)$$

$$h = g \quad (6)$$

$$g = f \quad (7)$$

$$f = e \quad (8)$$

$$e = d + T_1 \quad (9)$$

$$d = c \quad (10)$$

$$c = b \quad (11)$$

$$b = a \quad (12)$$

$$a = T_1 + T_2 \} \quad (13)$$

Di mana :

$$\sum_1^{(256)}(e) = (e\ ROTR\ 6) \oplus (e\ ROTR\ 11) \oplus (e\ ROTR\ 25)$$

$$\sum_0^{(256)}(a) = (a\ ROTR\ 2) \oplus (a\ ROTR\ 13) \oplus (a\ ROTR\ 22)$$

$$Ch(e, f, g) = (e \wedge f) \oplus (\sim e \wedge g)$$

$$Maj(a, b, c) = (a \wedge b) \oplus (a \wedge c) \oplus (b \wedge c)$$

a, b, c, d, e, f, g, h = Variabel yang berisi pesan heksadesimal

$K_1^{(256)}$ = Konstansta SHA-256

$ROTR$ = Rotate Right

$\oplus$ = Operator XOR

$\wedge$ = Operator AND

Tabel 2. Konstanta SHA-256

428A2F98	71374491	B5C0FBCF	E9B5DBA5	3956C25B	59F111F1	923F82A4	AB1C5ED5
D807AA98	12835B01	243185BE	550C7DC3	72BE5D74	80DEB1FE	9BDC06A7	C19BF174
E49B69C1	EFBE4786	0FC19DC6	240CA1CC	2DE92C6F	4A7484AA	5CB0A9DC	76F988DA
983E5152	A831C66D	B00327C8	BF597FC7	C6E00BF3	D5A79147	06CA6351	14292967
27B70A85	2E1B2138	4D2C6DFC	53380D13	650A7354	766A0ABB	81C2C92E	92722C85
A2BFE8A1	A81A664B	C24B8B70	C76C51A3	D192E819	D6990624	F40E3585	106AA070
19A4C116	1E376C08	2748774C	34B0BCB5	391C0CB3	4ED8AA4A	5B9CCA4F	682E6FF3
748F82EE	78A5636F	84C87814	8CC70208	90BEFFFA	A4506CEB	BEF9A3F7	C67178F2

Sumber : Federal Information Processing Standards Publications, 2002 [8]

g. Menjumlahkan hasil akhir a, b, c, d, e, f, g, h dengan inisial *hash value* $H^{(i)}$

$H_0^{(i)}$	$= a + H_0^{(i)}$	$H_1^{(i)}$	$= b + H_1^{(i)}$	$H_2^{(i)}$	$= c + H_2^{(i)}$	$H_3^{(i)}$	$= d + H_3^{(i)}$
$H_4^{(i)}$	$= e + H_4^{(i)}$	$H_5^{(i)}$	$= f + H_5^{(i)}$	$H_6^{(i)}$	$= g + H_6^{(i)}$	$H_7^{(i)}$	$= h + H_7^{(i)}$

h. *Output*

Setelah mengulangi langkah 1 hingga 4 sebanyak N kali, fungsi *hash* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$H_0^{(N)} \parallel H_1^{(N)} \parallel H_2^{(N)} \parallel H_3^{(N)} \parallel H_4^{(N)} \parallel H_5^{(N)} \parallel H_6^{(N)} \parallel H_7^{(N)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Algoritma SHA-256

Yang menjadi objek pada penelitian ini adalah dokumen citra digital hasil pemindaian dari ijazah dan transkrip nilai. Dokumen hasil pemindaian ini berformat jpg dengan resolusi spasial 300 dpi. Untuk memudahkan proses analisa maka diambil sampel dari hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai tersebut berukuran 6 x 6 piksel pada kanal merah saja dan nilai piksel tersebut diambil menggunakan aplikasi MatlabR2017.

Gambar 2. Nilai Piksel Citra Sampel

Berikut ini adalah langkah-langkah penerapan algoritma SHA-256 untuk mendeteksi orisinalitas citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai. Sebelum menerapkan algoritma SHA-256 dilakukan terlebih dahulu penyesuaian *input* berupa bilangan biner. Untuk itu, nilai piksel dari citra *input* diubah ke dalam bilangan biner.

Tabel 3. Nilai *Input* biner

01001111	01100000	01101111	01101001	01101001	01100010
01100100	01101110	01101101	01111001	01110011	01101011
01011110	01011000	01101010	01100001	01110000	01111010
01110010	01100000	01101001	01100110	01100001	01101001
01101000	01101001	01011010	01100010	01001100	01100101
01100000	01101111	01100000	01010110	01110011	01110100

a. Penambahan *Padding* Bit

Dari tabel 4 di atas diketahui bahwa panjang $M=288$ bit. Proses berikutnya adalah dengan menambahkan *padding* bit 1 dan sisanya 0 sejumlah k , dengan persamaan sebagai berikut :

$$k = l + 1 \equiv 448 \text{ mod } 512$$

$$k = 288 + 1 \equiv 448 \text{ mod } 512$$

$$k = 289 \equiv 448 \text{ mod } 512$$

$$k = 448 - 229$$

$$k = 159$$

Maka banyaknya *padding* bit 0 yang ditambahkan adalah 159 bit.

Tabel 4. Penambahan *Padding* Bit

01001111	01100000	01101111	01101001	01101001	01100010	01100100	01101110
01101101	01111001	01110011	01101011	01011110	01011000	01101010	01100001
01110000	01111010	01110010	01100000	01101001	01100110	01100001	01101001
01101000	01101001	01011010	01100010	01001100	01100101	01100000	01101111
01100000	01010110	01110011	01110100	10000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

b. Penambahan Panjang *Append*

Penambahan panjang *append* dilakukan dengan penambahan panjang pesan sebanyak 64 bit di akhir. Panjang pesan adalah 288 bit sehingga ditambahkan panjang *append* sebagai berikut :

Tabel 5. Penambahan Panjang *Append*

01001111	01100000	01101111	01101001	01101001	01100010	01100100	01101110
01101101	01111001	01110011	01101011	01011110	01011000	01101010	01100001
01110000	01111010	01110010	01100000	01101001	01100110	01100001	01101001
01101000	01101001	01011010	01100010	01001100	01100101	01100000	01101111
01100000	01010110	01110011	01110100	10000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000001	00100000

c. *Parsing* Pesan

Pada kasus ini panjang pesan tidak lebih dari 512 sehingga hanya menghasilkan 1 blok 512 bit yaitu $M^{(0)}$. Tahap selanjutnya adalah melakukan *parsing* pesan dengan membagi setiap blok 512 bit menjadi 16 blok berukuran 32 bit.

Tabel 6. *Parsing* Pesan

$M_0^{(0)}$	:	0100111101100000 0110111101101001	$M_1^{(0)}$	:	011010010110001001100100011011 10
$M_2^{(0)}$	:	011011010111100101110011 01101011	$M_3^{(0)}$	:	010111100101100001101010011000 01
$M_4^{(0)}$	:	011100000111101001110010011000 00	$M_5^{(0)}$	:	011010010110011001100001011010 01
$M_6^{(0)}$	:	01101000 011010010101101001100010	$M_7^{(0)}$	:	010011000110010101100000011011 11

$M_8^{(0)}$	:	01100000010101100111001101110100	$M_9^{(0)}$	:	10000000000000000000000000000000
$M_{10}^{(0)}$	:	00000000000000000000000000000000	$M_{11}^{(0)}$	:	00000000000000000000000000000000
$M_{12}^{(0)}$	:	00000000000000000000000000000000	$M_{13}^{(0)}$	:	00000000000000000000000000000000
$M_{14}^{(0)}$	:	00000000000000000000000000000000	$M_{15}^{(0)}$	:	00000000000000000000000001001000

d. Inisialisasi Nilai *Hash*

Setelah proses *parsing* pesan maka langkah selanjutnya adalah inisialisasi nilai *hash* di mana nilai ini merupakan sebuah ketentuan yaitu :

Tabel 7. Initial Hash Value

Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value	Variabel	Hash Value
$H_0^{(0)}$	= 6A09E667	$H_1^{(0)}$	= BB67EA85	$H_2^{(0)}$	= 3C6EF372	$H_3^{(0)}$	= A54FF53A
$H_4^{(0)}$	= 510E527F	$H_5^{(0)}$	= 9B05688C	$H_6^{(0)}$	= 1F83D9AB	$H_7^{(0)}$	= 5BE0CD19

e. Penjadwalan Pesan

Kemudian dilakukan proses penjadwalan pesan, langkah ini diawali dengan mengubah setiap blok pesan menjadi bilangan heksadesimal dengan ketentuan sebagai berikut :

$$Wt = \begin{cases} M_t^{(t)} & 0 \leq t \leq 15 \\ \sigma_1^{(256)}(W_{i-2}) + W_{i-7} + \sigma_0^{(256)}(W_{i-15}) + W_{i-16}, & 16 \leq t \leq 63 \end{cases}$$

Tabel 8. Penjadwalan Pesan

4F606F69	6962646E	6D79736B	5E586A61	707A7260	69666169	4C65606F	4C656F
60567374	80000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000120
18458186	F1C56C43	B25F3BC3	CC660898	32D405C0	CE182B88	79CDBB87	ED495557
CDC92068	B299951B	807015AD	2AD60F3A	D65B97BB	403EA139	E6B05C80	C1CE665A
B394B55B	D1EB82CF	5391D3AD	DB1B2C81	49879567	17DA8AA1	5ACF9149	3517EFA5
1EC0C640	5EBC651C	CA3CE603	BB20E07F	B0F32F26	116867D3	4250DF45	ABEA303E
EBD90AF2	1E99300C	86C5B810	6D08B661	A89881C5	25D17EA6	0ECBA874	63F53B98
08BF0E68	477CF579	6E4E79F6	D871E636	889E2FAB	A53FA658	5C6DE651	96877234

Untuk menjadwalkan pesan ke 16 sampai 63 dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_1^{(256)}(W_{i-2}) &= ((W_{i-2})ROTR 17) \oplus ((W_{i-2})ROTR 19) \oplus ((W_{i-2})SHR 10) \\ ((W_{16-2})ROTR 17) &= ((W_{14})ROTR 17) = ((00000000)ROTR 17) \\ &= ((00000000 00000000 00000000 00000000)ROTR 17) \\ &= (00000000 00000000 00000000 00000000) \\ ((W_{16-2})ROTR 19) &= ((W_{14})ROTR 19) = ((00000000)ROTR 19) \\ &= ((00000000 00000000 00000000 00000000)ROTR 19) \\ &= (00000000 00000000 00000000 00000000) \\ ((W_{16-2})SHR 10) &= ((W_{14})SHR 10) = ((00000000)SHR 10) \\ &= ((00000000 00000000 00000000 00000000)SHR 10) \\ &= (00000000 00000000 00000000 00000000) \\ \sigma_1^{(256)}(W_{i-2}) &= (00000000 00000000 00000000 00000000) \\ &\quad (00000000 00000000 00000000 00000000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{(00000000 \ 00000000 \ 00000000 \ 00000000)}{=} \oplus \\
 & = (00000000 \ 00000000 \ 00000000 \ 00000000) = 00000000 \\
 W_{16-7} & = W_9 = 80000000 \\
 \sigma_0^{(256)}(W_{i-15}) & = ((W_{i-15})ROTR \ 7) \oplus ((W_{i-15})ROTR \ 18) \oplus ((W_{i-15})SHR \ 3) \\
 ((W_{16-15})ROTR \ 7) & = ((W_1)ROTR \ 7) = ((6962646E) \ ROTR \ 7) \\
 & = (01101001 \ 01100010 \ 01100100 \ 01101110) \ ROTR \ 7) \\
 & = (11011100 \ 11010010 \ 11000100 \ 11001000) \\
 ((W_{16-15})ROTR \ 7) & = ((W_1)ROTR \ 18) = ((6962646E) \ ROTR \ 18) \\
 & = ((01101001 \ 01100010 \ 01100100 \ 01101110) \ ROTR \ 18) \\
 & = (10011001 \ 00011011 \ 10011010 \ 01011000) \\
 ((W_{16-15})SHR \ 3) & = ((W_1)SHR \ 3) = ((6962646E) \ SHR \ 3) \\
 & = ((01101001 \ 01100010 \ 01100100 \ 01101110)SHR \ 3) \\
 & = (00001101 \ 00101100 \ 01001100 \ 10001101) \\
 \sigma_0^{(256)}(W_{i-15}) & = (00001101 \ 00101100 \ 01001100 \ 10001101) \\
 & = (11011100 \ 11010010 \ 11000100 \ 11001000) \\
 & = (10011001 \ 00011011 \ 10011010 \ 01011000) \\
 & = \frac{(00001101 \ 00101100 \ 01001100 \ 10001101)}{(01001000 \ 11100101 \ 00010010 \ 00011101)} \\
 & = 48E5121D \\
 W_{16-16} & = W_0 = 4F606F69 \\
 Wt & = \sigma_1^{(256)}(W_{i-2}) + W_{i-7} + \sigma_0^{(256)}(W_{i-15}) + W_{i-16} \\
 Wt & = 00000000 + 80000000 + 48E5121D + 4F606F69 = 1 \ 18458186
 \end{aligned}$$

Demikian seterusnya hingga $W_{63^{(i-1)}}$, di mana i adalah jumlah blok 512 bit.

f. Inisialisasi variabel kerja

Selanjutnya melakukan inisialisasi variabel kerja a, b, c, d, e, f, g dan h di mana setiap variabel diambil dari *initial hash value* $a=H_0^{(0)}$, $b=H_1^{(0)}$, $c=H_2^{(0)}$, $d=H_3^{(0)}$, $e=H_4^{(0)}$, $f=H_5^{(0)}$, $g=H_6^{(0)}$, $h=H_7^{(0)}$. Selanjutnya dilakukan proses komputasi fungsi *hash* SHA-256 dari $t=0$ sampai $t=63$.

Tabel 9. Proses Komputasi Fungsi *Hash* SHA-256

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
<i>Init</i>	6A09E667	BB67AE85	3C6EF372	A54FF53A	510E527F	9B05688C	1F83D9AB	5BE0CD19
<i>t=0</i>	4B68F7B6	6A09E667	BB67AE85	3C6EF372	E828520B	510E527F	9B05688C	1F83D9AB
<i>t=1</i>	C040451D	4B68F7B6	6A09E667	BB67AE85	048E9261	E828520B	510E527F	9B05688C
<i>t=2</i>	42F71079	C040451D	4B68F7B6	6A09E667	5A2B7383	048E9261	E828520B	510E527F
<i>t=3</i>	F3775F85	42F71079	C040451D	4B68F7B6	0BEABA02	5A2B7383	048E9261	E828520B
<i>t=4</i>	7D5F4096	F3775F85	42F71079	C040451D	A8C48799	0BEABA02	5A2B7383	048E9261
<i>t=5</i>	750571D6	7D5F4096	F3775F85	42F71079	DAE80334	A8C48799	0BEABA02	5A2B7383
<i>t=6</i>	1C1572C1	750571D6	7D5F4096	F3775F85	E37F8375	DAE80334	A8C48799	0BEABA02
<i>t=7</i>	1487E900	1C1572C1	750571D6	7D5F4096	C8BC0893	E37F8375	DAE80334	A8C48799
<i>t=8</i>	7D87A666	1487E900	1C1572C1	750571D6	945C17BB	C8BC0893	E37F8375	DAE80334
<i>t=9</i>	57268678	7D87A666	1487E900	1C1572C1	FCD879F8	945C17BB	C8BC0893	E37F8375
<i>t=10</i>	5E97C3DA	57268678	7D87A666	1487E900	691295A0	FCD879F8	945C17BB	C8BC0893
<i>t=11</i>	0D0848ED	5E97C3DA	57268678	7D87A666	EB903E41	691295A0	FCD879F8	945C17BB
<i>t=12</i>	100F6E37	0D0848ED	5E97C3DA	57268678	09868358	EB903E41	691295A0	FCD879F8
<i>t=13</i>	53C09C64	100F6E37	0D0848ED	5E97C3DA	06D45027	09868358	EB903E41	691295A0
<i>t=14</i>	E7F1D787	53C09C64	100F6E37	0D0848ED	3FDE26AA	06D45027	09868358	EB903E41
<i>t=15</i>	1D0BBC9F	E7F1D787	53C09C64	100F6E37	53B4D175	3FDE26AA	06D45027	09868358
<i>t=16</i>	A4D1A5CC	1D0BBC9F	E7F1D787	53C09C64	4FD6FC6E	53B4D175	3FDE26AA	06D45027
<i>t=17</i>	23159FD9	A4D1A5CC	1D0BBC9F	E7F1D787	8F3E0941	4FD6FC6E	53B4D175	3FDE26AA
<i>t=18</i>	1824717D	23159FD9	A4D1A5CC	1D0BBC9F	FA916F51	8F3E0941	4FD6FC6E	53B4D175
<i>t=19</i>	351AB3AE	1824717D	23159FD9	A4D1A5CC	D5EC9154	FA916F51	8F3E0941	4FD6FC6E

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
<i>t=20</i>	C6BA4E92	351AB3AE	1824717D	23159FD9	BF7D8377	D5EC9154	FA916F51	8F3E0941
<i>t=21</i>	CCCOAA53	C6BA4E92	351AB3AE	1824717D	AF98E902	BF7D8377	D5EC9154	FA916F51
<i>t=22</i>	1ECD262C	CCCOAA53	C6BA4E92	351AB3AE	CF4FE975	AF98E902	BF7D8377	D5EC9154
<i>t=23</i>	28EC04F1	1ECD262C	CCCOAA53	C6BA4E92	8CF37AF4	CF4FE975	AF98E902	BF7D8377
<i>t=24</i>	B45DB1D9	28EC04F1	1ECD262C	CCCOAA53	90AA56FB	8CF37AF4	CF4FE975	AF98E902
<i>t=25</i>	1052CF9A	B45DB1D9	28EC04F1	1ECD262C	0B28ACAA	90AA56FB	8CF37AF4	CF4FE975
<i>t=26</i>	1250EF94	1052CF9A	B45DB1D9	28EC04F1	4CC736B6	0B28ACAA	90AA56FB	8CF37AF4
<i>t=27</i>	C78936BD	1250EF94	1052CF9A	B45DB1D9	A49952EB	4CC736B6	0B28ACAA	90AA56FB
<i>t=28</i>	EFFEB392	C78936BD	1250EF94	1052CF9A	B134EED7	A49952EB	4CC736B6	0B28ACAA
<i>t=29</i>	D1A7214D	EFFEB392	C78936BD	1250EF94	3C7AA0A5	B134EED7	A49952EB	4CC736B6
<i>t=30</i>	522BC667	D1A7214D	EFFEB392	C78936BD	BA4B1032	3C7AA0A5	B134EED7	A49952EB
<i>t=31</i>	B99FEE6	522BC667	D1A7214D	EFFEB392	64CF84CD	BA4B1032	3C7AA0A5	B134EED7
<i>t=32</i>	0993242F	B99FEE6	522BC667	D1A7214D	80F843BA	64CF84CD	BA4B1032	3C7AA0A5
<i>t=33</i>	21E69895	0993242F	B99FEE6	522BC667	2A6599C7	80F843BA	64CF84CD	BA4B1032
<i>t=34</i>	F6BE3AE3	21E69895	0993242F	B99FEE6	089F570D	2A6599C7	80F843BA	64CF84CD
<i>t=35</i>	A9C2A584	F6BE3AE3	21E69895	0993242F	6F50A730	089F570D	2A6599C7	80F843BA
<i>t=36</i>	764D4B53	A9C2A584	F6BE3AE3	21E69895	D135C12A	6F50A730	089F570D	2A6599C7
<i>t=37</i>	C0370446	764D4B53	A9C2A584	F6BE3AE3	3929C3B1	D135C12A	6F50A730	089F570D
<i>t=38</i>	9137D23D	C0370446	764D4B53	A9C2A584	59842C31	3929C3B1	D135C12A	6F50A730
<i>t=39</i>	4C888AFA	9137D23D	C0370446	764D4B53	FB2A62B2	59842C31	3929C3B1	D135C12A
<i>t=40</i>	9B4DD93D	4C888AFA	9137D23D	C0370446	6A87F24A	FB2A62B2	59842C31	3929C3B1
<i>t=41</i>	0F8A9BD6	9B4DD93D	4C888AFA	9137D23D	9E586B93	6A87F24A	FB2A62B2	59842C31
<i>t=42</i>	E83481CF	0F8A9BD6	9B4DD93D	4C888AFA	F2A6356F	9E586B93	6A87F24A	FB2A62B2
<i>t=43</i>	0A69EC17	E83481CF	0F8A9BD6	9B4DD93D	A5707EBB	F2A6356F	9E586B93	6A87F24A
<i>t=44</i>	38CF6F15	0A69EC17	E83481CF	0F8A9BD6	C4624A18	A5707EBB	F2A6356F	9E586B93
<i>t=45</i>	81F39880	38CF6F15	0A69EC17	E83481CF	5DF4FDE2	C4624A18	A5707EBB	F2A6356F
<i>t=46</i>	03B1C880	81F39880	38CF6F15	0A69EC17	C4DCB267	5DF4FDE2	C4624A18	A5707EBB
<i>t=47</i>	EA3D5AC0	03B1C880	81F39880	38CF6F15	6ED90EB7	C4DCB267	5DF4FDE2	C4624A18
<i>t=48</i>	254FCBA5	EA3D5AC0	03B1C880	81F39880	C07E5D48	6ED90EB7	C4DCB267	5DF4FDE2
<i>t=49</i>	E367B17D	254FCBA5	EA3D5AC0	03B1C880	16D4337B	C07E5D48	6ED90EB7	C4DCB267
<i>t=50</i>	15CB1423	E367B17D	254FCBA5	EA3D5AC0	C819FFCF	16D4337B	C07E5D48	6ED90EB7
<i>t=51</i>	48B9B068	15CB1423	E367B17D	254FCBA5	C56C92FC	C819FFCF	16D4337B	C07E5D48
<i>t=52</i>	49293AA8	48B9B068	15CB1423	E367B17D	B4DFCCEF	C56C92FC	C819FFCF	16D4337B
<i>t=53</i>	521A7A56	49293AA8	48B9B068	15CB1423	87F654E4	B4DFCCEF	C56C92FC	C819FFCF
<i>t=54</i>	651D20DE	521A7A56	49293AA8	48B9B068	02D1A38B	87F654E4	B4DFCCEF	C56C92FC
<i>t=55</i>	AA79B8CE	651D20DE	521A7A56	49293AA8	C6E3150E	02D1A38B	87F654E4	B4DFCCEF
<i>t=56</i>	0D6EB7B9	AA79B8CE	651D20DE	521A7A56	6A76B22C	C6E3150E	02D1A38B	87F654E4
<i>t=57</i>	CC441512	0D6EB7B9	AA79B8CE	651D20DE	AC93BBDC	6A76B22C	C6E3150E	02D1A38B
<i>t=58</i>	39956060	CC441512	0D6EB7B9	AA79B8CE	06729F4F	AC93BBDC	6A76B22C	C6E3150E
<i>t=59</i>	EB12A5EA	39956060	CC441512	0D6EB7B9	2F631533	06729F4F	AC93BBDC	6A76B22C
<i>t=60</i>	AE321AE6	EB12A5EA	39956060	CC441512	F38852FA	2F631533	06729F4F	AC93BBDC
<i>t=61</i>	EE342801	AE321AE6	EB12A5EA	39956060	5A93AEA0	F38852FA	2F631533	06729F4F
<i>t=62</i>	8FC52F27	EE342801	AE321AE6	EB12A5EA	F005EA8C	5A93AEA0	F38852FA	2F631533
<i>t=63</i>	7D36E2C0	8FC52F27	EE342801	AE321AE6	2BA3B2A4	F005EA8C	5A93AEA0	F38852FA

Untuk $t=0$ lakukan perhitungan sebagai berikut :

a *b* *c* *d* *e* *f* *g* *h*
6A09E667 BB67AE85 3C6EF372 A54FF53A 510E527F 9B05688C 1F83D9AB 5BE0CD19

$$T_1 = h + \sum_1^{(256)}(e) + Ch(e, f, g) + K_t^{(256)} + W_t$$

$$h = 5BE0CD19$$

$$\sum_1^{(256)}(e) = (e \text{ ROTR } 6) \oplus (e \text{ ROTR } 11) \oplus (e \text{ ROTR } 25)$$

$$(e \text{ ROTR } 6) = (e \text{ ROTR } 6) = ((510E527F) \text{ ROTR } 6)$$

$$= ((01010001 \ 00001110 \ 01010010 \ 01111111) \text{ ROTR } 6)$$

$$= (11111101 \ 01000100 \ 00111001 \ 01001001)$$

$$(e \text{ ROTR } 11) = (e \text{ ROTR } 11) = ((510E527F) \text{ ROTR } 11)$$

$$= ((01010001 \ 00001110 \ 01010010 \ 01111111) \text{ ROTR } 11)$$

$$= (01001111 \ 11101010 \ 00100001 \ 11001010)$$

$$\begin{aligned}
 (e \text{ ROTR } 25) &= (e \text{ ROTR } 25) = ((510E527F) \text{ ROTR } 25) \\
 &= ((01010001 \ 00001110 \ 01010010 \ 01111111) \text{ ROTR } 25) \\
 &= (10000111 \ 00101001 \ 00111111 \ 10101000) \\
 \sum_1^{(256)} (e) &= (11111101 \ 01000100 \ 00111001 \ 01001001) \\
 &= (01001111 \ 11101010 \ 00100001 \ 11001010) \\
 &= (10000111 \ 00101001 \ 00111111 \ 10101000) \oplus \\
 &\quad (00110101 \ 10000111 \ 00100111 \ 00101011) = 3587272B \\
 Ch(e, f, g) &= (e \wedge f) \oplus (\sim e \wedge g) \\
 &= (510E527F \wedge 9B05688C) \oplus (\sim 510E527F \wedge 1F83D9AB) \\
 (e \wedge f) &= (01010001 \ 00001110 \ 01010010 \ 01111111) \\
 &= (10011011 \ 00000101 \ 01101000 \ 10001100) \wedge \\
 &\quad (00010001 \ 00000100 \ 01000000 \ 00001100) \\
 \sim e &= (\sim 01010001 \ 00001110 \ 01010010 \ 01111111) \\
 &= (10101110 \ 11110001 \ 10101101 \ 10000000) \\
 (\sim e \wedge g) &= (10101110 \ 11110001 \ 10101101 \ 10000000) \\
 &\quad (00011111 \ 10000011 \ 11011001 \ 10101011) \wedge \\
 &= (00001110 \ 10000001 \ 10001001 \ 10000000) \\
 Ch(e, f, g) &= (00010001 \ 00000100 \ 01000000 \ 00001100) \\
 &\quad (00001110 \ 10000001 \ 10001001 \ 10000000) \oplus \\
 &= (00011111 \ 10000101 \ 11001001 \ 10001100) = 1F85C98C \\
 K_0^{(256)} &= 428A2F98, W_t = 4F606F69 \\
 T_1 &= 5BE0CD19 + 3587272B + 1F85C98C + 428A2F98 + 4F606F69 = \\
 &\quad 142D85CD1 \\
 T_2 &= \sum_0^{(256)} (a) + Maj(a, b, c) \\
 \sum_0^{(256)} (a) &= (a \text{ ROTR } 2) \oplus (a \text{ ROTR } 13) \oplus (a \text{ ROTR } 22) \\
 (a \text{ ROTR } 2) &= (a \text{ ROTR } 2) = ((6A09E667) \text{ ROTR } 2) \\
 &= ((01101010 \ 00001001 \ 11100110 \ 01100111) \text{ ROTR } 2) \\
 &= (11011010 \ 10000010 \ 01111001 \ 10011001) \\
 (a \text{ ROTR } 13) &= (a \text{ ROTR } 13) = ((6A09E667) \text{ ROTR } 13) \\
 &= ((01101010 \ 00001001 \ 11100110 \ 01100111) \text{ ROTR } 13) \\
 &= (00110011 \ 00111011 \ 01010000 \ 01001111) \\
 (a \text{ ROTR } 22) &= (a \text{ ROTR } 22) = ((6A09E667) \text{ ROTR } 22) \\
 &= ((01101010 \ 00001001 \ 11100110 \ 01100111) \text{ ROTR } 22) \\
 &= (00100111 \ 10011001 \ 10011101 \ 10101000) \\
 \sum_0^{(256)} (a) &= (11011010 \ 10000010 \ 01111001 \ 10011001) \\
 &\quad (00110011 \ 00111011 \ 01010000 \ 01001111) \\
 &\quad (00100111 \ 10011001 \ 10011101 \ 10101000) \oplus \\
 &= (11001110 \ 00100000 \ 10110100 \ 01111110) = CE20B47E \\
 Maj(a, b, c) &= (a \wedge b) \oplus (a \wedge c) \oplus (b \wedge c) \\
 Maj(a, b, c) &= (6A09E667 \wedge BB67AE85) \oplus (6A09E667 \wedge 3C6EF372) \oplus (BB67AE85 \wedge 3C6EF372) \\
 (a \wedge b) &= (01101010 \ 00001001 \ 11100110 \ 01100111) \\
 &\quad (10111011 \ 01100111 \ 10101110 \ 10000101) \wedge \\
 &= (00101010 \ 00000001 \ 10100110 \ 00000101) \\
 (a \wedge c) &= (01101010 \ 00001001 \ 11100110 \ 01100111) \\
 &\quad (00111100 \ 01101110 \ 11110011 \ 01110010) \wedge \\
 &= (00101000 \ 00001000 \ 11100010 \ 01100010) \\
 (b \wedge c) &= (10111011 \ 01100111 \ 10101110 \ 10000101)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (00111100 \ 01101110 \ 11110011 \ 01110010) ^\wedge \\
 & = (00111000 \ 01100110 \ 10100010 \ 00000000) \\
 Maj(a, b, c) & = (00101010 \ 00000001 \ 10100110 \ 00000101) \\
 & (00101000 \ 00001000 \ 11100010 \ 01100010) \\
 & (00111000 \ 01100110 \ 10100010 \ 00000000) \oplus \\
 & = (00111010 \ 01101111 \ 11100110 \ 01100111) = 3A6FE667 \\
 T_2 & = CE20B47E + 3A6FE667 = 1 \ 08909AE5 \\
 h & = 1F83D9AB, g = 9B05688C, f = 510E527F, \\
 e = d + T_1 & = A54FF53A + 42D85CD1 = E828520B \\
 d = 3C6EF372, c & = BB67AE85, b = 6A09E667, \\
 a = T_1 + T_2 & = 42D85CD1 + 08909AE5 = 4B68F7B6
 \end{aligned}$$

g. Menjumlahkan variabel kerja dengan inisial nilai *hash*

Tabel 10. Penjumlahan dengan *initial hash value*

Variabel	Initial Hash Value		Variabel Kerja	Hasil
$H_0^{(0)}$	6A09E667	+	7D36E2C0	E740C927
$H_1^{(0)}$	BB67EA85	+	8FC52F27	1 4B2D19AC
$H_2^{(0)}$	3C6EF372	+	EE342801	1 2AA31B73
$H_3^{(0)}$	A54FF53A	+	AE321AE6	1 53821020
$H_4^{(0)}$	510E527F	+	2BA3B2A4	7CB20523
$H_5^{(0)}$	9B05688C	+	F005EA8C	1 8B0B5318
$H_6^{(0)}$	1F83D9AB	+	5A93AEA0	7A17884B
$H_7^{(0)}$	5BE0CD19	+	F38852FA	1 4F692013

h. Output

Output dari SHA-256 merupakan penggabungan dari $H_0^{(0)}$ sampai $H_7^{(0)}$ sebagai berikut :

E740C927 || 4B2D19AC || 2AA31B73 || 53821020 || 7CB20523 || 8B0B5318 || 7A17884B || 4F692013

Sehingga didapat nilai *hash* dari pesan M adalah sebagai berikut :

E740C9274B2D19AC2AA31B73538210207CB205238B0B53187A17884B4F692013

3.2. Hasil

Hasil dari analisa yang telah dilakukan terhadap hasil pemindaian citra ijazah dan transkrip nilai adalah nilai *hash* 256 bit yang terdiri dari 64 digit bilangan heksadesimal.

Tabel 11. Hasil Nilai *Hash*

Citra	Nilai Hash	Citra	Nilai Hash
CE4C779930278511 0CF6C1D447FCEA44 E139D423C5A8A3E9 7F520C992EDD69B5		0933DEFC9A55A290 633C0820B7EEF706 81D03E39A2EBA1B4 FFABB10F3C66CC23

3.3. Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian pada objek penelitian yaitu citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai. Pengujian dilakukan dengan melakukan beberapa manipulasi pada hasil pemindaian citra ijazah dan transkrip nilai dan melihat apakah perubahan yang dilakukan pada citra tersebut juga mengubah nilai *hash* yang dihasilkan. Apabila nilai *hash* berubah berarti manipulasi yang dilakukan pada citra tersebut dapat di deteksi oleh fungsi *hash* SHA-256. Pengujian terhadap citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil Pengujian

Parameter	Citra Awal	Citra Manipulasi	Nilai Hash Citra Awal	Nilai Hash Citra Manipulasi	Hasil
Mengubah resolusi citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai			0933DEFC 9A55A290 633C0820 B7EEF706 81D03E39 A2EBA1B4 FFABB10F 3C66CC23	EDAC8365 27D625F9 B5159002 9F9B2C60 4341DB3D FEBCC091 FEBE5136 505992F5	Terdeteksi
			CE4C7799 30278511 0CF6C1D4 47FCEA44 E139D423 C5A8A3E9 7F520C99 2EDD69B5	C28FAE4D BB692686 BC997401 4CFF2CB9 33ADC9E1 25B0EAF7 78947A4C CDC7C666	Terdeteksi
Mengubah nilai satu piksel citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai			0933DEFC 9A55A290 633C0820 B7EEF706 81D03E39 A2EBA1B4 FFABB10F 3C66CC23	74F10DB2 48058B88 727A2A91 47D65C8E DBB41282 0C529C45 4C5030AF DD271727	Terdeteksi
			CE4C7799 30278511 0CF6C1D4 47FCEA44 E139D423 C5A8A3E9 7F520C99 2EDD69B5	25385A7D E2B6FBF8 C7E76603 CA7031FF 06F3F936 D98A369A 59F9608B 69B9A9D9	Terdeteksi
Mengubah nilai <i>brightness</i> dan <i>contrast</i> citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip			0933DEFC 9A55A290 633C0820 B7EEF706 81D03E39 A2EBA1B4 FFABB10F 3C66CC23	FB7BBAD5 5CAAE082 F2427C99 FB52A0CB 4CADEB32 B6B0E69B DA5F71C8 1B569B98	Terdeteksi

Parameter	Citra Awal	Citra Manipulasi	Nilai Hash Citra Awal	Nilai Hash Citra Manipulasi	Hasil
nilai			CE4C7799 30278511 0CF6C1D4 47FCEA44 E139D423 C5A8A3E9 7F520C99 2EDD69B5	4F23F216 E047B306 4F04F53C FAA126A3 B9080E0F 647ADD90 9AEFCE22 3CFDD87B	Terdeteksi
Mengubah satu karakter huruf atau angka pada citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai			0933DEFC 9A55A290 633C0820 B7EEF706 81D03E39 A2EBA1B4 FFABB10F 3C66CC23	0D050545 964359C4 69DBB9D0 BDF547B4 3D16A5E2 B83C722A D999911F 9472FF18	Terdeteksi
	CE4C7799 30278511 0CF6C1D4 47FCEA44 E139D423 C5A8A3E9 7F520C99 2EDD69B5	3DBD5FE8 DFD602FE B2BBDD97 B066C760 AAA17383 B459DC27 B68F6074 8B620179	Terdeteksi

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada tabel 12. di atas membuktikan bahwa algoritma SHA-256 berhasil mendeteksi perubahan yang terjadi pada citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai dengan persentase hingga 100%, semua perubahan dapat dideteksi oleh algoritma SHA-256 bahkan perubahan pada satu nilai piksel memberikan perubahan yang sangat signifikan pada nilai *hash*nya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- Algoritma SHA-256 dapat digunakan untuk mendeteksi orisinalitas citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai
- Algoritma SHA-256 dapat mendeteksi perubahan yang terjadi pada citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai walaupun perubahan yang terjadi hanya satu piksel saja
- Algoritma SHA-256 menghasilkan perbedaan yang signifikan pada nilai *hash*nya walaupun perubahan yang terjadi pada citra hasil pemindaian ijazah dan transkrip nilai hanya satu piksel saja

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. dan D. S. M. Ghosh, "Review Paper on Secure Hash Algorithm With Its Variants," *International Journal of Innovation in Modern Engineering & Science (IJTIMES)*, vol. III, no. 05, pp. 1-7, 2017.

- [2] D. Rachamawati, J. T. Tarigan dan A. B. C. Ginting, "A Comparative Study of Message Digest 5 (MD5) and SHA-256 Algorithm," dalam *2nd International Conference on Computing and Applied Informatics 2017*, Medan, 2018.
- [3] T. Kirubakaran, K. Srinivasan, P. J. Vignesh dan V. V. A, "Implementation of Secure Hash Algorithm-256," *International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC)*, pp. 5785-5788, 2017.
- [4] T. Sutoyo, E. Mulyanto, V. Suhartono, O. N. Nurhayati dan W. , *Teori Pengolahan Citra Digital*, Yogyakarta: Andi, 2009.
- [5] D. Putra, *Pengolahan Citra Digital*, Yogyakarta: Andi, 2010.
- [6] R. Munir, *Kriptografi*, Bandung: Informatika Bandung, 2006.
- [7] Y. Kurniawan, *Kriptografi Keamanan Internet dan Jaringan Komunikasi*, Bandung: Informatika, 2017.
- [8] F. I. P. Standards Publications, "Secure Hash Standard," National Institute of Standards and Technology, Amerika Serikat, 2002.