

## ANALISIS METODE *CONNECTED VERTICES CLUSTERING* AND *STAR TOPOLOGY* PADA SERANGAN GEOMETRI TERHADAP *WATERMARKING* OBJEK 3D

Oriza Intani<sup>1</sup>, Bambang Hidayat<sup>2</sup>, Suryo Adhi Wibowo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[oriza.intani@gmail.com](mailto:oriza.intani@gmail.com), <sup>2</sup>[bhidayat@telkomuniversity.ac.id](mailto:bhidayat@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[suryoadhiwibowo@telkomuniversity.com](mailto:suryoadhiwibowo@telkomuniversity.com)

### Abstrak

Dalam usaha untuk melindungi hak cipta dan keaslian dari suatu objek tiga dimensi, diperlukan sebuah algoritma untuk menyisipkan informasi rahasia yang tidak nampak oleh indera penglihatan manusia namun dapat dideteksi dengan menggunakan suatu media, misalnya komputer. Oleh karena itu *watermark* menjadi sebuah solusi terbaik untuk permasalahan tersebut. Metode yang digunakan untuk menanamkan *watermark* ke dalam objek 3 dimensi adalah metode *connected vertices clustering and topology star*, dimana sebuah objek 3 dimensi dibagi-bagi menjadi beberapa topologi *star* berdasarkan *vertex-vertex*-nya yang saling terhubung. Dari topologi *star* ini dipilih *edge-edge* untuk disisipi informasi *watermark* dan dengan menggunakan sebuah PN *sequensial* dipilih *edge* yang *vertex*-nya disisipi oleh *watermark*. Hasil yang diperoleh dari simulasi sistem *watermarking* ini adalah didapat sebuah skema penanaman *watermark* dengan kualitas *imperceptibility* yang baik karena memiliki nilai BER dan VER yang mendekati 0 serta nilai SNR yang besar. Selain itu *watermark* dapat diekstrak dengan sangat baik setelah diberi serangan rotasi, *scaling*, translasi, serta kombinasi serangan *scaling* dan translasi dengan nilai BER 0. Skema ini tidak *robust* terhadap serangan *cropping*.

**Kata Kunci:** object 3D, *watermarking*, *star topology*, *connected vertices clustering*

### Abstract

In an effort to protect the copyright of a three-dimensional object, it is needed an algorithm to insert the secret information that is not visible by the human sight, but can be detected by a medium, such as computer. Therefore watermark is a best solution for the problem above. The method that is used to embed a watermark into a 3-dimensional object is a method of connected vertices clustering and star topology, where the three dimensional object is divided into several star topology based on the interconnected vertices. There are some edges that are selected by PN sequence to be embedded by watermark. Watermark is embedded in the vertices of the selected edges. The results of the simulations is obtained a good imperceptibility because the value of MSE and VER is close to 0 and the value of SNR is big enough. Beside it, the watermark can be extracted with a very good after being attacked by rotation, scaling, translation, and the combination of scaling and translation with the BER value is 0. This scheme is not robust against cropping attack.

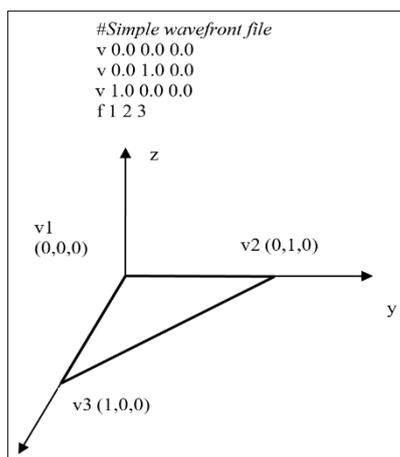
**Keywords:** 3D object, *watermarking*, *star topology*, *connected vertices clustering*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan dunia multimedia kini menjadi semakin pesat. Untuk representasi citra sendiri tidak cukup hanya pada citra 2 dimensi saja. Kini objek 3 dimensi pun sudah banyak kita jumpai dalam berbagai aplikasi multimedia, mulai dari perfilman, *games*, citra medis bahkan logo-logo suatu instansi. Indera penglihatan manusia menuntut untuk mendapatkan representasi suatu citra yang semirip mungkin dengan benda aslinya, untuk itulah saat ini objek 3 dimensi dirasa dapat memberikan solusi untuk memanjakan penglihatan mata manusia dengan gambaran semirip mungkin dengan objek aslinya. Seiring dengan perkembangan internet, penyebaran objek 3 dimensi sendiri menjadi tidak terbatas karena setiap orang sudah dapat menggunakan objek-objek 3

dimensi untuk kepentingan pribadi mereka. Mereka bebas mengunduh objek 3 dimensi dari jaringan internet. Hal ini tentu saja menciptakan suatu masalah dalam hal kepemilikan objek 3 dimensi tersebut. Untuk itulah diperlukan sebuah teknologi untuk dapat melindungi hak milik dari objek 3 dimensi tersebut.

Salah satu teknik untuk melindungi hak milik dari suatu data adalah dengan *watermarking*. *Watermarking* sendiri adalah sebuah teknik untuk menyisipkan sebuah informasi ke dalam suatu data tanpa merusak data tersebut. Informasi yang ditanam di dalam sebuah data dapat diekstrak sewaktu-waktu bila diperlukan untuk membuktikan kepemilikan dari data yang disisipi *watermark* tersebut. Atas latar belakang inilah, kemudian penulis melakukan penelitian tentang *watermarking* pada objek 3 dimensi.



Gambar 1. Segitiga Sederhana

Saat ini *watermarking* telah banyak digunakan pada citra 2 dimensi, sedangkan untuk objek 3 dimensi masih jarang ditemui skema *watermarking* yang kokoh terhadap serangan. Penelitian tentang *watermarking* pada objek 3 dimensi yang sudah pernah ada sebelumnya menggunakan metode transformasi *wavelet* pada domain frekuensi dan metoda *fuzzy* pada domain spasial. Dari penelitian yang telah dilakukan tersebut didapat hasil SNR untuk serangan rotasi pada objek 3 dimensi dengan metode *haar wavelet* adalah 310 dan untuk metoda *fuzzy logic* adalah 400. Selain itu penelitian yang sejenis juga pernah dilakukan dengan menggunakan metode *lazy wavelet*. Dari penelitian dengan menggunakan *lazy wavelet* ini didapat nilai MSE yang mendekati nol dan *watermark* dapat diekstrak kembali pada objek tiga dimensi yang telah diberi serangan geometris. Didalam penelitian ini penulis akan menggunakan metode *connected vertices clustering and star topology* yang bekerja pada domain spasial. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan skema *watermarking* yang kokoh namun dengan proses yang lebih sederhana.

## 2. Persamaan Matematika

### 2.1. Objek Tiga Dimensi [2]

Objek tiga dimensi adalah sebuah citra untuk merepresentasikan suatu objek yang memiliki panjang, lebar dan tinggi. Seperti suatu benda asli, objek tiga dimensi pun harus dapat dilihat dari berbagai sisi. Untuk merepresentasikan bentuk objek tiga dimensi biasanya digunakan *triangular meshes*, dimana sebuah objek tiga dimensi terbentuk dari segitiga-segitiga atau biasa disebut dengan *face*.

Salah satu teknologi representasi objek tiga dimensi yang menggunakan *face* sebagai penyusunnya adalah *file* dengan format *\*.obj*. *File \*.obj* atau biasa dikenal dengan teknologi *wavefront* yang digunakan pada aplikasi *Wavefront's Advanced Visualizer* untuk membuat sebuah objek tersusun atas garis, poligon, kurva bentuk bebas, dan *surface*

namun tidak mengandung komponen warna. *File \*.obj* ini akan disimpan dalam format ASCII. Garis dan poligon dideskripsikan dalam poin-poin, sementara kurva dan *surface* didefinisikan dengan titik-kontrol dan deskripsi informasi lainnya tergantung pada jenis kurvanya. *File \*.obj* mengandung *face* yang biasanya dibentuk dalam *triangle mesh* atau *polygonal face*. Sebagai contoh dibawah ini merupakan format *file \*.obj* pembentuk segitiga sederhana. Segitiga sederhana tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada matriks sederhana pembentuk segitiga di atas *keyword v* merepresentasikan *vertex* atau titik, sedangkan *keyword f* merepresentasikan *face*.

### 2.2. Watermarking [3, 4, 5]

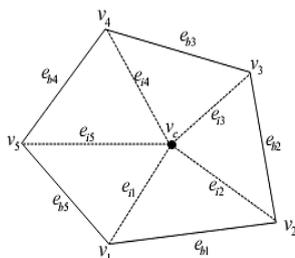
*Watermarking* adalah istilah teknik untuk menanamkan dan menyembunyikan informasi rahasia ke dalam suatu *file*. Dengan seiringnya waktu, teknik ini juga memungkinkan untuk memeriksa apakah suatu *file* telah disisipi sebuah informasi rahasia atau tidak dan untuk mengetahui informasi apa yang telah disisipkan ke dalam sebuah *file*. Penanaman informasi memiliki tujuan untuk melindungi *file* dari *editing* oleh pihak yang tidak diinginkan. Selain itu *watermarking* juga dapat digunakan untuk melindungi hak cipta pemilik *file* dengan cara menyisipkan informasi tentang pemilik *file* ke dalam *file* itu sendiri. Informasi rahasia dalam pengertian *watermarking* merujuk kepada informasi yang tidak terlihat secara kasat mata, namun dapat diketahui keberadaan dan informasinya melalui sebuah media, misalnya komputer.

*Watermark* yang ideal tidak boleh mengganggu tujuan dari data, dalam makalah ini adalah objek tiga dimensi. Untuk itu maka algoritma *watermarking* yang bagus adalah yang tidak menampilkan *watermark* pada *host*-nya. Untuk saat ini algoritma *watermarking* untuk objek tiga dimensi masih sedikit karena teknik *watermarking* untuk objek tiga dimensi memiliki kesulitan, di antaranya:

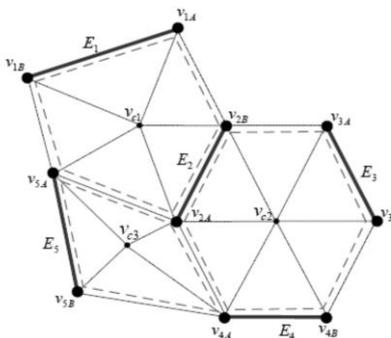
- Bila dibandingkan dengan gambar dua dimensi, hanya ada sejumlah kecil data (misal *vertex*) yang tersedia untuk disisipi *watermark*.
- Belum ada transformasi yang kuat yang dapat digunakan untuk menanamkan *watermark* ke dalam objek tiga dimensi.

Ada dua kelas utama dari aplikasi *watermaking*, yaitu:

- Memeriksa integritas: tujuannya adalah untuk dapat mendeteksi bahwa *file* telah dirusak dengan memasukkan *watermark* rapuh yang akan hilang jika dokumen dirubah, dan mungkin dapat diketahui bagian dari dokumen yang diubah.
- Otentikasi: tujuannya adalah untuk dapat mengatakan bahwa suatu dokumen yang berasal dari sumber tertentu telah dimanipulasi dan dirusak dalam upaya untuk menghapus *watermark*.



**Gambar 2. Topologi Star**



**Gambar 3. Kandidat Edge**

Aspek penting dalam *watermarking*, di antaranya:

- Validasi: *watermark* dapat diekstrak sepenuhnya dari objek tiga dimensi yang tidak diberi serangan.
- Kapasitas: jumlah informasi yang dapat disembunyikan dalam suatu *file*.
- Visibilitas: distorsi gambar dan degradasi penglihatan karena penyisipan *watermark*, dan diharapkan bahwa *watermark* menjadi tak terlihat.
- Robustness*: kemampuan untuk memulihkan *watermark* bahkan setelah gambar telah dimanipulasi dan diubah.

Tiga metode ekstraksi *watermarking*, antara lain:

- Blind*: *watermark* dapat diekstraksi dari objek yang telah disisipi *watermark* dan tidak memerlukan informasi lain.
- Semi-blind*: seseorang dapat memeriksa apakah *watermark* tertanam atau tidak dalam sebuah objek.
- Non-blind*: *watermark* dapat diekstraksi dengan menggunakan objek asli dari objek yang telah disisipi *watermark*.

### 2.3. Topologi Star [1]

Sebuah model tiga dimensi permukaannya sering diwakili oleh segitiga atau biasa kita sebut dengan *triangular mesh*. Dalam *triangular mesh* terdapat sisi-sisi yang membentuk segitiga. Segitiga-segitiga ini dikumpulkan membentuk sebuah topologi *star* (Gambar 2). Sisi atau yang lebih lanjut akan kita sebut sebagai *edge* yang merupakan *edge* bersama antara dua segitiga disebut sebagai *edge* interior, sedangkan *edge* yang milik segitiga tunggal disebut *edge* batas.

Sebuah *loop* tertutup dibentuk dengan menghubungkan *edge* batas tersebut membentuk tepian *mesh*. Kemudian akan terbentuk sebuah topologi *star* berupa daerah poligon yang terdiri dari banyak segitiga yang memiliki satu *vertex* yang sama, yang disebut sebagai *vertex* pusat.

Dari sebuah objek tiga dimensi dapat dibentuk banyak topologi *star*, dari banyak topologi *star* ini akan dipilih beberapa *edge* untuk menjadi kandidat *edge* dengan syarat kandidat *edge* yang terpilih tidak boleh terhubung ke kandidat *edge* lain (Gambar 3). Dari kumpulan kandidat *edge* akan dibangkitkan *edge-edge* yang akan disisipi oleh *watermark* dengan menggunakan PN *sequence*.

*Watermark* yang telah diubah menjadi bit-bit biner disisipkan ke dalam *vertex* yang berbobot kecil dari *edge* kandidat dengan cara menambahkan bobot dengan nilai *watermark*-nya.

### 2.4. PN Sequence [1]

PN *sequence* adalah sebuah sekuensial bilangan-bilangan yang elemen-elemennya tidak akan berulang. Misalkan kita memiliki sebuah sekuensial sepanjang 9 bit, maka sekuensial tersebut akan mengandung 9 angka yang berbeda. Pada sistem *watermarking* ini, PN *sequence* dibangkitkan dari sebuah Generator PN untuk digunakan sebagai penentu kandidat *edge* yang disisipi oleh informasi *watermark*. pada proses membangkitkan PN *sequence* akan dibutuhkan sebuah kunci berupa bilangan yang hanya diketahui oleh si pembuat *watermark*.

### 2.5. Serangan Geometri

Serangan geometri diberikan kepada objek tiga dimensi yang telah disisipi *watermark*, hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuatkah *watermark* yang disisipkan ke dalam objek tiga dimensi. Apabila *watermark* dapat diekstrak dan dapat dikenali dengan baik setelah *host* objek tiga dimensi diberi serangan maka dapat dikatakan bahwa *watermark* kuat terhadap serangan. berikut adalah beberapa macam serangan geometri yang dapat dilakukan pada objek tiga dimensi:

- Rotasi [6, 7]  
Rotasi adalah perputaran objek pada suatu sumbu tertentu dan sejauh sudut yang diinginkan.
- Scaling* [9]  
*Scaling* adalah proses untuk mengubah ukuran objek menjadi lebih besar atau lebih kecil, tergantung pada skala pengalinya.
- Translasi [8]  
Translasi adalah proses pergeseran koordinat suatu objek, bisa terhadap sumbu dan jarak yang diinginkan.
- Cropping*  
*Cropping* adalah proses menghilangkan suatu bagian dari objek tiga dimensi. Pada objek tiga

dimensi *cropping* berarti menghilangkan beberapa *face* dan *vertex*.

### 3. Desain dan Perancangan Sistem

Pada bab ini dijelaskan tentang perancangan sistem, dimana prosesnya dibagi menjadi 2 tahap, yaitu tahap penanaman *watermark* dan tahap pengambilan *watermark*. Sistem ini dirancang dengan menggunakan metoda *connected vertices clustering and star topology* yang memanfaatkan domain spasial untuk setiap tahap prosesnya. Karena sistem bekerja pada domain spasial maka tidak dibutuhkan transformasi khusus dalam sistem ini.

Pada proses penyisipan diperlukan sebuah *host* berupa objek tiga dimensi dengan format *\*.obj file*. Untuk *watermark* yang akan disisipkan adalah gambar dua dimensi yang akan ditambahkan pada *vertex host*. Sistem *watermark* yang dirancang ini bersifat *non-blind* sehingga diperlukan *host* aslinya untuk proses ekstraksi. Dalam proses ekstraksi, objek tiga dimensi yang telah disisipi *watermark* dikurangi dengan *host* asli untuk mendapatkan kembali informasi yang disisipkan.

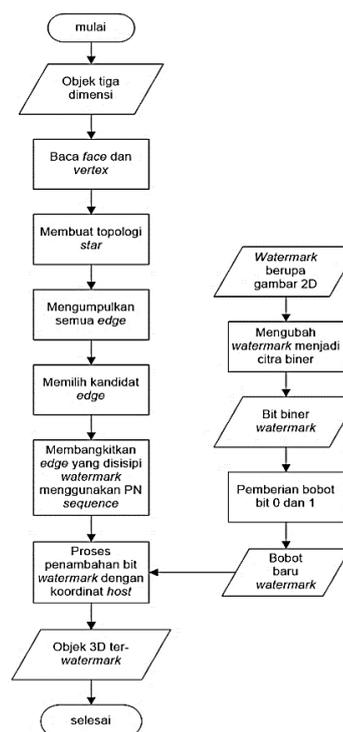
#### 3.1. Proses Penanaman Watermark

Pada proses penyisipan *watermark*, dibutuhkan sebuah *host* berupa objek tiga dimensi yang akan disisipi sebuah *watermark* berupa gambar dua dimensi. Sebelum disisipkan ke dalam *host*, *watermark* terlebih dahulu diubah menjadi gambar biner yang hanya mempunyai warna hitam dan putih. Dari *watermark* yang telah diubah menjadi gambar biner didapatkan bit biner 0 dan 1 lalu diberi bobot masing-masing dan ditambahkan ke dalam koordinat *X* dari *vertex* terendah yang ada pada *edge* kandidat.

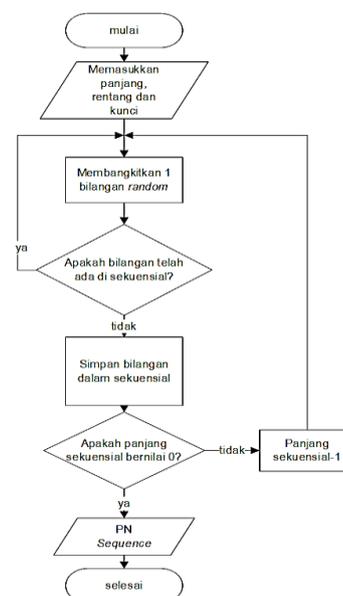
Dari *host* yang berupa objek tiga dimensi terlebih dahulu dicari *vertex* dan *face*-nya. *Vertex* adalah titik-titik koordinat yang ada pada sebuah objek tiga dimensi, sedangkan *face* adalah segitiga-segitiga pembentuk permukaan objek tiga dimensi. Dari kumpulan *face* tersebut dapat dibentuk topologi *star* dengan cara mengumpulkan *vertex-vertex* dan *face-face* yang saling terhubung satu sama lain. Sebuah objek tiga dimensi dapat memiliki banyak topologi *star* yang saling terhubung. Kumpulan *face* dapat dikatakan sebagai sebuah topologi *star* apabila kumpulan *face* tersebut memiliki satu titik pusat yang sama.

Dari sebuah topologi *star* akan didapat daftar sisi-sisi atau *edge* penyusun topologi *star*. *Edge* penyusun topologi *star* ini diseleksi untuk menjadi kandidat *edge* dengan syarat setiap kandidat *edge* tidak boleh terhubung dengan kandidat *edge* lain. Hal ini bertujuan untuk mengurangi dampak pergeseran koordinat yang berantai yang disebabkan oleh bergesernya dua atau lebih *edge* karena penyisipan *watermark* pada satu *vertex* yang merupakan *vertex* bersama dari beberapa *edge*.

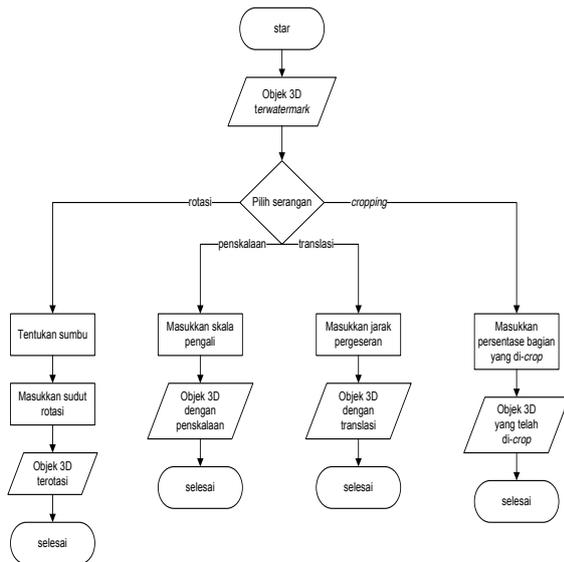
Dari sebuah *edge* kandidat dibangkitkan *edge-edge* yang akan disisipi informasi *watermark*. *Edge-edge* dibangkitkan sesuai dengan PN *sequence* yang dibangkitkan oleh Generator PN. Generator PN ini dibangkitkan dengan memasukkan sebuah kunci berupa bilangan yang hanya diketahui oleh si pemilik *watermark*. *Edge* yang telah dibangkitkan oleh PN *sequence* ini memiliki 2 *vertex*, *vertex* yang memiliki bobot lebih rendah disebut dengan *vertex* kandidat yang disisipi *watermark*. Bobot *watermark* akan ditambahkan pada elemen *X* *vertex* kandidat dan berulang terus hingga semua bit *watermark* Disisipkan (Gambar 4).



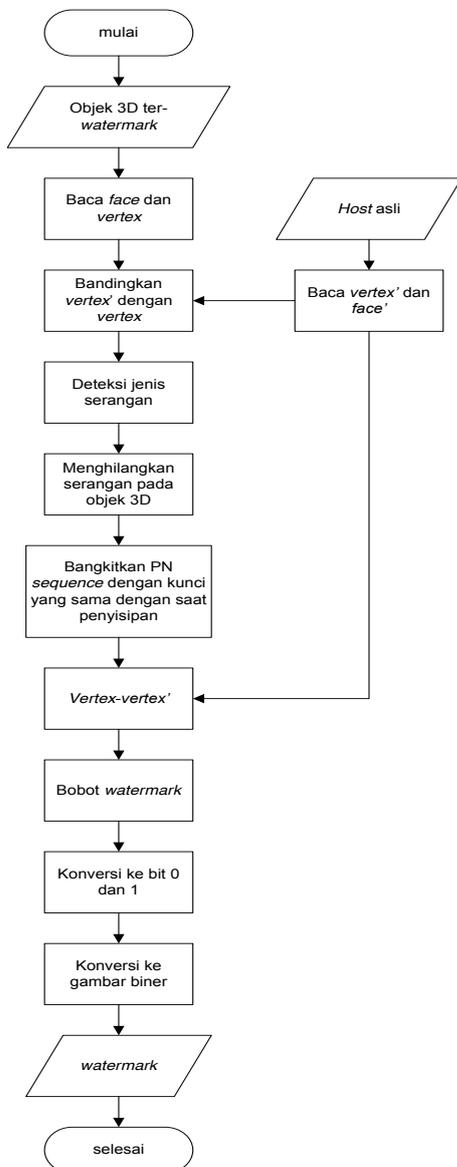
Gambar 4. Diagram Alir Proses Penyisipan



Gambar 5. Diagram Alir Generator PN



Gambar 6. Diagram Alir Proses Serangan



Gambar 7. Diagram Alir Proses Ekstraksi Watermark

### 3.2. Proses Serangan

Serangan dilakukan untuk menguji ketahanan dari watermark yang disisipkan. Adapun serangan yang dilakukan dalam sistem ini adalah serangan geometri berupa rotasi, translasi, *scaling*, *cropping* serta ditambahkan pula kombinasi serangan *scaling* dan translasi. Serangan dilakukan pada objek tiga dimensi yang telah disisipi oleh watermark untuk melihat apakah watermark masih dapat diekstrak dan dikenali dengan baik setelah dilakukan proses serangan pada *host* tiga dimensinya. Diagram alir proses serangan dapat dilihat pada Gambar 6.

### 3.3. Proses Ekstraksi Watermark

Proses ekstraksi watermark dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi watermark yang disisipkan dari objek 3 dimensi yang telah disisipi watermark. Terdapat 2 proses ekstraksi dalam sistem ini, pertama ekstraksi untuk objek ter-watermark yang tidak diberi serangan dan yang kedua adalah proses ekstraksi untuk objek ter-watermark yang telah diberi serangan. Gambar 6 adalah diagram alir untuk mengekstraksi objek ter-watermark yang tidak diberi serangan.

Berdasarkan diagram alir di atas maka dapat dilihat bahwa untuk proses ekstraksi diperlukan *host* asli objek tiga dimensi untuk dikurangkan dengan objek tiga dimensi yang telah disisipi watermark. Selain itu juga perlu dibangkitkan *PN sequence* yang sama dengan *PN sequence* pada saat proses penyisipan watermark. *PN sequence* yang sama dapat dibangkitkan dengan cara memasukkan kunci yang sama dengan pada saat proses penyisipan. Kunci ini berupa sebuah bilangan yang hanya diketahui oleh si pembuat watermark. kemudian *edge* pada objek ter-watermark akan dipilih lagi sesuai dengan *PN sequence* yang telah dibangkitkan untuk mendapatkan posisi penyisipan watermark.

Komponen *X* dari posisi watermark pada objek ter-watermark dikurangi dengan nilai elemen *X* dari *host* asli dan didapatkan bobot watermark-nya. Setelah mendapat nilai *W*, maka kita beri bobot 0 dan 1 untuk nilai-nilai *W* tersebut. Setelah didapat bit biner maka dapat dikonversi bit-bit tersebut menjadi sebuah gambar biner dua dimensi yang merupakan informasi dari watermark yang telah disisipkan sebelumnya

## 4. Pengujian Sistem dan Analisis Hasil

Pengujian sistem dan analisis hasil pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 4.1. Skenario Pengujian

Untuk mengetahui performansi sistem dilakukan pengujian pada proses penyisipan watermark, serangan, dan proses ekstraksi

*watermark*. Dalam proses penyisipan *watermark* dibutuhkan beberapa objek tiga dimensi dengan format file *\*.obj* dan dua gambar dua dimensi sebagai *watermark*. Tabel 1 menunjukkan objek-objek tiga dimensi yang menjadi *host* pada proses penyisipan. Sementara untuk *watermark*, yang disisipkan adalah berupa gambar dua dimensi yang menunjukkan identitas pemilik *watermark* (Tabel 2).

#### 4.2. Analisis Penyisipan *Watermark* Tanpa Serangan

Pada skenario ini akan dilakukan penyisipan 2 *watermark* dengan ukuran yang sama ke dalam 4 *host* tiga dimensi. Tujuan dari skenario ini adalah untuk mengetahui sejauh mana performansi dari objek tiga dimensi setelah disisipi *watermark* dengan melihat parameter MSE, VER, dan SNR. Gambar 8 sampai dengan 10 menunjukkan grafik hasil pengujian.

Dari Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa *error* yang terjadi pada objek tiga dimensi yang telah disisipi *watermark* sangat sedikit karena nilai MSE-nya sangat kecil. Dari Gambar 9 dapat dijelaskan bahwa rasio perubahan *vertex host* tiga dimensi setelah disisipi *watermark* sangat kecil karena nilai VER-nya juga sangat kecil. Dari Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa objek ter-*watermark* memiliki *imperceptibility* yang baik serta kecilnya nilai degradasi *host* tiga dimensi setelah disisipi *watermark*.

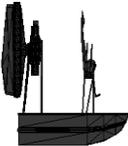
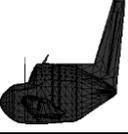
Dari ketiga grafik di atas dapat disimpulkan bahwa ukuran *host* mempengaruhi nilai MSE dan VER. Semakin besar ukuran *host* maka semakin kecil nilai MSE dan VER-nya. Hal ini terjadi karena semakin banyak *vertex* yang tidak disisipi *watermark*, sehingga tidak berubah nilai. Selain itu setelah disisipi *watermark* pun performansi objek tiga dimensi masih tetap bagus sehingga tujuan *watermark* ideal sudah terpenuhi, yaitu *watermark* yang disisipkan tidak mengganggu fungsi dari *host* karena *watermark* tidak merusak tampilan *host*.

#### 4.3. Pengaruh Serangan Rotasi

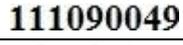
Sejauh berapa pun objek ter-*watermark* dirotasi, *watermark* yang disisipkan dapat diekstrak dengan sempurna oleh sistem. Hal ini berlaku untuk rotasi terhadap sumbu X, Y, dan Z serta menghasilkan BER dengan nilai nol. Hal ini membuktikan bahwa sistem *robust* terhadap serangan rotasi.

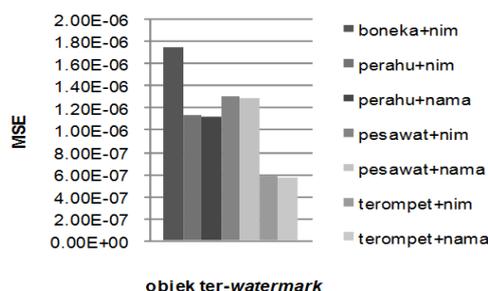
Pada skenario ini dan skenario-skenario selanjutnya, parameter MSE, VER, dan SNR tidak akan dianalisis lebih jauh. Hal ini dikarenakan adanya serangan yang dilakukan terhadap domain spasial yang mengakibatkan kerusakan pada *face* dan *vertex* dari objek ter-*watermark*. Kerusakan *face* dan *vertex* pada objek ter-*watermark* akan menghasilkan nilai-nilai MSE, VER, dan SNR yang tidak ideal dan sangat beragam tergantung dari intensitas serangan yang diberikan.

Tabel 1. Tabel *Host*

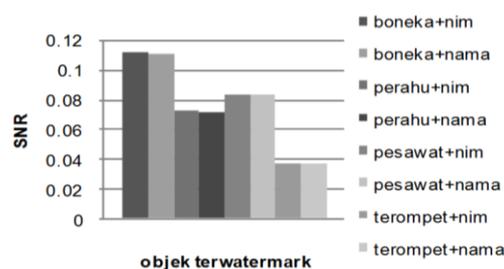
Nama	Gambar	Face	Vertex	Ukuran
Boneka		7152	3980	232 Kb
Perahu		11566	6127	369 Kb
Pesawat		7446	5303	286 Kb
Terompet		23696	12070	816 Kb

Tabel 2. Tabel *Watermark*

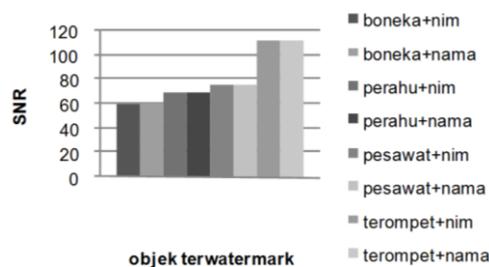
Nama	Gambar	Ukuran
Nim.jpg		88 x 13 piksel
Nama.jpg		88 x 13 piksel



Gambar 8. Grafik MSE Objek Ter-*watermark*



Gambar 9. Grafik VER Objek Ter-*watermark*



Gambar 10. Grafik SNR Objek Ter-*watermark*

#### 4.4. Pengaruh Serangan Translasi Terhadap Parameter Performansi

Sejauh berapa pun objek ter-*watermark* ditranslasi, *watermark* akan dapat diekstraksi dengan sempurna oleh sistem. BER *watermark* selalu bernilai 0 sehingga membuktikan bahwa sistem *robust* terhadap serangan translasi.

#### 4.5. Pengaruh Serangan *Scaling* Terhadap Parameter Performansi

Berapa pun nilai skala, *watermark* akan dapat diekstrak dengan sempurna oleh sistem. BER *watermark* selalu bernilai 0 sehingga membuktikan bahwa sistem *robust* terhadap serangan *scaling*.

#### 4.6. Pengaruh Serangan *Cropping* Terhadap Parameter Performansi

*Watermark* hasil ekstraksi memiliki nilai BER yang cukup besar, bahkan citra *watermark* sudah tidak dapat dikenali lagi. Untuk objek ter-*watermark* yang telah diberi serangan *cropping* dengan presentase *crop* diatas 0,1 tidak dapat diekstrak. Hal ini dikarenakan proses pencarian kandidat *edge* pada objek ter-*watermark* yang akan diekstraksi menghasilkan jumlah yang berbeda dengan pencarian kandidat *edge* pada saat proses penyisipan. Perbedaan jumlah kandidat *edge* ini diakibatkan oleh banyaknya *face* dan *vertex* yang hilang.

#### 4.7. Pengaruh Serangan *Invers* Terhadap Parameter Performansi

Setelah dilakukan serangan *invers* pada objek tiga dimensi yang telah disisipi *watermark*, *watermark* dapat diekstrak dengan sempurna oleh sistem. Hal ini terbukti dari parameter BER yang bernilai nol sehingga sekaligus membuktikan bahwa sistem *robust* terhadap serangan *invers*.

#### 4.8. Pengaruh Serangan Kombinasi *Scaling* dan Translasi Terhadap Parameter Performansi

Dari pengujian ini didapatkan nilai BER nol yang berarti *watermark* dapat diekstrak dengan sempurna oleh sistem. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sistem *robust* terhadap kombinasi serangan *scaling* dan translasi.

#### 4.9. Pengaruh Serangan Kombinasi *Scaling*, Translasi dan *Invers* Terhadap Parameter Performansi

Dari setiap pengujian yang dilakukan selalu didapatkan nilai BER nol yang berarti *watermark* dapat diekstrak dengan sempurna oleh sistem. Maka disimpulkan bahwa sistem *robust* terhadap kombinasi serangan *scaling* dan translasi.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, antara lain:

- a. *Watermarking* 3D yang dilakukan makalah ini menggunakan *clustering* terhadap *vertex* yang saling terhubung dan topologi *star* dalam skema penyisipannya.
- b. Pada proses penyisipan didapatkan nilai MSE dan VER yang sangat kecil hingga mendekati nol, sedangkan nilai SNR-nya cukup besar. Nilai SNR terbesar ada pada *host* pesawat yang disisipi *watermark* nama dengan nilai SNR 111,831. Bila semakin kecil, nilai MSE dan VER maka nilai SNR akan semakin besar.
- c. Ukuran *host* dapat mempengaruhi nilai MSE, VER, dan SNR. Semakin besar ukuran *host* maka nilai MSE dan VER semakin kecil dan nilai SNR semakin besar.
- d. Setelah diberi serangan rotasi, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai SNR menjadi sangat kecil. Hal ini disebabkan karena serangan geometri merusak *vertex* dan *face* dari *host*. Namun semua *watermark* dapat diekstrak dengan baik oleh sistem dan menghasilkan BER dengan nilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap serangan rotasi.
- e. Setelah diberi serangan translasi, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai MSE menjadi sangat kecil. Untuk BER *watermark* pada saat proses ekstraksi bernilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap serangan translasi.
- f. Setelah diberi serangan *scaling*, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai SNR menjadi sangat kecil. Untuk BER *watermark* pada saat proses ekstraksi bernilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap serangan *scaling*.
- g. Setelah diberi serangan *cropping*, nilai MSE dan VER menjadi besar dan nilai SNR menjadi kecil. *Watermark* hasil ekstraksi memiliki nilai BER yang sangat besar, bahkan *watermark* sudah tidak dapat dikenali lagi.
- h. Setelah diberi serangan *invers*, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai MSE menjadi sangat kecil. Untuk BER *watermark* pada saat proses ekstraksi bernilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap serangan translasi.
- i. Setelah dilakukan kombinasi serangan *scaling* dan translasi, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai SNR menjadi sangat kecil. Untuk BER *watermark* pada saat proses ekstraksi bernilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap kombinasi serangan *scaling* dan translasi.

- j. Setelah dilakukan kombinasi serangan *scaling*, translasi dan invers, nilai MSE dan VER menjadi sangat besar dan nilai SNR menjadi sangat kecil. Untuk BER *watermark* pada saat proses ekstraksi bernilai 0 yang berarti tidak ada *error* pada *watermark* hasil ekstraksi dan sistem *robust* terhadap kombinasi serangan *scaling*, translasi dan invers.

#### Daftar Pustaka

- [1] “3D Mesh Topology Tip: Quads vs. Triangles”, 2008, Diakses pada tanggal 9 Juni 2013 dari <http://blendernewbies.blogspot.com/2008/11/3d-mesh-topology-tip-quads-vs-triangles.html>
- [2] “3D Rotation”, Diakses pada tanggal 29 April 2013 dari [http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/modeling/mod\\_tran/3drota.htm](http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/modeling/mod_tran/3drota.htm)
- [3] Aron, “Space and Matrix Transformations - Building a 3D”, Diakses pada tanggal 30 April 2013 dari <http://www.codeproject.com/Articles/42086/Space-and-Matrix-Transformations-Building-a-3D-Eng>.
- [4] Away, Gunaidi Abdia, “The Shortcut of Matlab Programming”, Informatika, Bandung, 2006.
- [5] Breed, Gary, “Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issue”, High Frequency Electronics Copyright © 2003 Summit Technical Media, LLC, 2003.
- [6] Caesarendra, Wahyu dan Mochammad Ariyanto, “Panduan Belajar Mandiri Matlab”, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2011.
- [7] Chalil, Munawar, “Simulasi dan Analisis Non-Blind Watermarking pada Objek Digital 3D Berbasis Transformasi Lazy Wavelet”, Tugas Akhir Sarjana pada Fakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom Bandung: tidak diterbitkan, 2013.
- [8] Febrina, Rizka, “Simulasi dan Analisis Watermarking 3D dengan Metode Transformasi Wavelet dan dengan Metode Fuzzy Logic”, Tugas Akhir Sarjana pada Fakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom Bandung: tidak diterbitkan, 2013.
- [9] Garcia, Emmanuel dan Jean-Luc Dugelay “Texture-Based Watermarking of 3-D Video Objects”, IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology, vol. 13, no. 8, 2003.
- [10] Gruber, Diana, “The Mathematics of the 3D Rotation Matrix”, Diakses pada tanggal 29 April 2013 dari <http://www.fastgraph.com/makegames/3drotation/>.
- [11] Iman, Hatta Yanuar, “Implementasi Watermarking pada Objek 3 Dimensi dengan Transformasi Wavelet”, Tugas Akhir Sarjana pada Fakultas Informatika IT Telkom Bandung: tidak diterbitkan, 2006.
- [12] Jafilun, “Digital Watermarking Pada Domain Spasial Menggunakan Teknik “Least Significant Bit””, Seminar Nasional Sistem dan Informatika, 2006.
- [13] Liu Chen-Chung dan Pei-Chung Chun, “A Robust Three-Dimensional Model Watermarking Algorithm Based on Connected Vertices Clustering and Star Topology”, International Journal of Advanced Information Technologies (IJAIT), vol. 4, no.2, 2010.
- [14] Shrivastava, Sakshi dan Siddhartha Choubey, “Secure Image Based Watermark for 3D Image”, International Conference on Communication Systems and Network Technologies, 2011.
- [15] Wang Yu-Ping dan Shi-Min Hu, “A New Watermarking Method for 3D Models Based on Integral Invariants. Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics”, vol. 15, no. 2, 2009.
- [16] “Wavefront Obj File Format Summary”, Diakses pada tanggal 29 April 2013 dari <http://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm>.