



TESIS - TE142599

**REINTERPRETASI PERMUKAAN DIMENSI TIGA
MENGUNAKAN METODE *DELAUNAY
TRIANGULATION* DENGAN PENDEKATAN
LUMINANSI PADA CITRA WAJAH MANUSIA**

WIDYASARI
NRP. 2212205013

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - TE142099

**REINTERPRETATION OF THE THREE
DIMENSIONAL SURFACE USING DELAUNAY
TRIANGULATION METHODS WITH A LUMINANCE
APPROACH ON HUMAN FACE IMAGE**

**WIDYASARI
NRP. 2212205013**

**SUPERVISOR
Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.**

**MAGISTER PROGRAM
EXPERTISE FIELD OF MULTIMEDIA INTELLIGENT NETWORK
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:
Widyasari
NRP: 2212205013

Tanggal Ujian: 08 Januari 2015
Periode Wisuda: Maret 2015

Disetujui oleh:



1. Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.
NIP. 19690613 199702 1 003

(Pembimbing I)

2. 
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T.
NIP. 19680601 199512 1 009

(Penguji)

3. 
Dr. Supeno Mardi S. N., S.T., M.T.
NIP. 19700313 199512 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

REINTERPRETASI PERMUKAAN DIMENSI TIGA MENGUNAKAN METODE DELAUNAY TRIANGULATION DENGAN PENDEKATAN LUMINANSI PADA CITRA WAJAH MANUSIA

Nama Mahasiswa : Widyasari
NRP : 2212205013
Pembimbing : Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Vector art triangulation merupakan salah satu gaya desain yang unik dan khas dengan bentuk segitiga (*triangle*), di mana hasil dari pembuatan *vector art triangulation* ini berupa reinterpretasi atau kemiripan dengan objek aslinya. Dalam penelitian ini, pembuatan *vector art triangulation* terfokus pada citra wajah manusia yang memiliki fitur-fitur wajah sebagai pembeda setiap wajah manusia agar mudah dikenali identitas dan ekspresi pada wajah tersebut. Kombinasi beberapa metode dalam teknik pengolahan citra merupakan perkembangan teknologi yang dapat melakukan proses otomatisasi (*non-manual*) pada pembuatan *vector art triangulation* ini.

Sebuah citra wajah manusia akan menghasilkan sekumpulan titik-titik (*vertex*) dengan jumlah yang banyak pada permukaan citra. Kebutuhan akan normalisasi banyaknya jumlah *vertex* digunakan metode *Active Appearance Model* (AAM) yang mampu mendeteksi fitur-fitur wajah pada citra dengan memberikan label atau penanda pada fitur-fitur tersebut. Dengan menggunakan metode *Delaunay triangulation*, setiap tiga titik akan saling terhubung dan membentuk tautan pola segitiga dengan ukuran dan bentuk yang *non-homogen*.

Tahap akhir pada penelitian ini adalah menggunakan pendekatan luminansi, di mana setiap daerah pada citra wajah manusia memiliki tingkat kecerahan warna yang berbeda. Terkait dengan pendekatan ini, setiap *mesh* triangulasi yang telah terbentuk akan memiliki warna yang berbeda. Untuk menentukan warna setiap *mesh* triangulasi, dapat menggunakan cara dengan mencari nilai titik tengah daerah citra wajah yang dibatasi oleh setiap *mesh* triangulasi. Kemudian menggambar ulang *mesh* triangulasi menggunakan nilai titik tengah tersebut sehingga *mesh* triangulasi baru yang telah terbentuk mempunyai warna isi (*fill*) yang *solid* sesuai dengan nilai titik tengah. Selanjutnya dengan berpedoman pada kontur wajah manusia, penambahan atau pengurangan nilai kedalaman (*z*) pada *vertex* dilakukan untuk menghasilkan *mesh* triangulasi yang berdimensi tiga.

Kata Kunci: Active Appearance Model, Citra Wajah Manusia, Delaunay Triangulation, Luminansi, Mesh Triangulasi, Vector Art Triangulation, Warna.

Halaman ini sengaja dikosongkan

REINTERPRETATION OF THE THREE-DIMENSIONAL SURFACE USING DELAUNAY TRIANGULATION METHODS WITH A LUMINANCE APPROACH ON HUMAN FACE IMAGE

By : Widyasari
Student Identity Number : 2212205013
Supervisor : Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Vector art triangulation is one of design style that unique and distinctive with a triangular form (triangle), in which the results of making it will be reinterpretation or resemblance to its original object. In this research, making vector art triangulation focused on human face image that has face features as differentiation for any human face, so it make easily recognized of identity and expression in the face. A combination of several methods in technics image processing is an outgrowth technology that could perform the process automation (non-manual) to making this vector art triangulation.

A human face image will produce some points (vertex) with many amount on the image surface. The needed for normalization of many vertex was used Active Appearance Model (AAM) method that capable to detection face features on image by giving a label or marker on its features. By using Delaunay triangulation method, every three point will be totally interconnected and forming a pattern triangle with non-homogen size and shape.

The last stage in this research was using luminance approach, in which each area on human face image having a level of color brightness was different. Associated with this approach, each mesh triangulation has formed will have a different color. To determine the color of each mesh triangulation, can use a way to find the value of middle point of the face image is limited by any mesh triangulation. Then redraw mesh triangulation using the value of middle point, so a new mesh triangulation has formed will have the fill that solid based on the value of the middle point. Next according to the contours of the human face, addition or reduction value of the depth (z) in vertex undertaken to produce a three dimensional mesh triangulation.

Key Words: Active Appearance Model, Color, Delaunay Triangulation, Human Face Image, Luminance, Triangular Mesh, Vector Art Triangulation.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala rahmat dan nikmatNya lah tesis ini dapat terselesaikan. Tesis berjudul **“Reinterpretasi Permukaan Dimensi Tiga Menggunakan Metode Delaunay Triangulation Dengan Pendekatan Luminansi Pada Citra Wajah Manusia”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dra. Prihanantiastuti Susilowati, ibunda penulis dan Ir. Henry Bambang Setyawan, M.M., ayahanda penulis, terima kasih atas segala cinta dan kasih sayang, dukungan serta do'a untuk penulis.
2. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemdikbud) dengan Program Beasiswa Unggulan (BU) - BPKLN yang sangat membantu biaya studi perkuliahan S2 penulis.
3. Bapak Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, kritik, dan saran yang sangat membangun untuk tesis ini.
4. Bapak Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Supeno Mardi S. N., S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun untuk tesis ini.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat dan pengalaman yang berharga selama penulis menempuh kuliah S2.
6. Keluarga Kertajaya, keluarga besar penulis yang selalu mendukung dan memberi pengertian karena kesibukan penulis selama menyelesaikan tesis.
7. drh. Witandra, kakak kandung penulis yang telah memberikan dukungan dan do'a hingga terselesaikannya tesis ini.

8. Mahdiarto, S.T. yang telah memberikan dukungan dan pengertian, serta menjadi tempat berbagi keluh kesah saat menyelesaikan tesis ini.
9. Mirza Agistha, S.T., sahabat terbaik penulis yang selalu memberi motivasi dan mendengarkan keluh kesah penulis.
10. Rekan-rekan dosen Desain Komunikasi Visual UPN “Veteran” Jawa Timur, atas segala dukungan dan pengertian kepada penulis dalam menyelesaikan kuliah S2 dan tesis ini.
11. Rekan-rekan seperjuangan S2 Game Technology, S1 dan S2 Teknik Elektro ITS atas segala bantuan, sumbangsih pikiran dan tenaga selama penulis menempuh perkuliahan S2 hingga menyelesaikan tesis ini.
12. Semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bermanfaat bagi masyarakat.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN TESIS..... | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.3 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB 2 DASAR TEORI DAN STUDI PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Reinterpretasi Citra Wajah..... | 5 |
| 2.1.1 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan Karikatur..... | 5 |
| 2.1.2 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan Vector Art Potrait..... | 5 |
| 2.1.3 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan Wedha's Pop Art Potrait (WPAP)..... | 6 |
| 2.1.4 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan Vector Art Triangulation Potrait..... | 6 |
| 2.2 Vector Art Triangulation..... | 7 |
| 2.2.1 Pembuatan Vector Art Triangulation..... | 8 |
| 2.3 Pengolahan Citra Digital..... | 9 |
| 2.4 Teori Graf..... | 11 |
| 2.4.1 Definisi Graf..... | 11 |
| 2.4.2 Terminologi Graf..... | 12 |
| 2.5 Mesh Pada Permukaan..... | 13 |
| 2.6 Delaunay Triangulation..... | 14 |
| 2.6.1 Kriteria Triangulasi Delaunay..... | 15 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| | 2.6.2 Diagram Voronoi..... | 18 |
| | 2.6.3 Dualitas Delaunay dan Voronoi..... | 19 |
| | 2.6.4 Delaunay Triangulation Dengan Penyisipan Bertambah.... | 20 |
| | 2.7 Pelacakan Wajah Dengan HAAR Classifier..... | 25 |
| | 2.8 Landmark yang Cocok..... | 29 |
| | 2.9 Active Appearance Model..... | 30 |
| | 2.9.1 Two-Dimensional Shape Model..... | 30 |
| | 2.9.2 Appearance Model..... | 31 |
| | 2.10 Luminansi Pada Citra Wajah Manusia..... | 31 |
| | 2.11 Warna Hue, Saturation, dan Lightness (HSL)..... | 32 |
| | 2.11.1 Model Warna Hue, Saturation, dan Lightness (HSL)..... | 32 |
| | 2.11.2 Poin-poin Hue, Saturation, dan Lightness (HSL)..... | 33 |
| | 2.12 Kontur Kedalaman Wilayah Pada Permukaan Wajah Manusia... | 35 |
| BAB 3 | METODE PENELITIAN..... | 37 |
| | 3.1 Citra Wajah Manusia..... | 39 |
| | 3.2 Menentukan Titik-titik Pada Fitur Wajah..... | 39 |
| | 3.2.1 Fitur-fitur Wajah..... | 40 |
| | 3.2.1.1 Fitur Alis Mata..... | 40 |
| | 3.2.1.2 Fitur Mata..... | 41 |
| | 3.2.1.3 Fitur Hidung..... | 42 |
| | 3.2.1.4 Fitur Mulut..... | 42 |
| | 3.2.1.5 Fitur Lengkungan Wajah..... | 43 |
| | 3.3 Menambahkan Titik-titik Pada Citra Wajah..... | 44 |
| | 3.4 Menghubungkan Titik-titik Menggunakan Delaunay Triangulation..... | 46 |
| | 3.5 Memberikan Warna Pada Mesh Triangulasi Delaunay..... | 51 |
| | 3.5.1 Warna Citra..... | 51 |
| | 3.5.2 Variasi Warna Citra..... | 53 |
| | 3.6 Memberikan Nilai Kedalaman Pada Titik-titik (Vertex)..... | 53 |
| BAB 4 | HASIL DAN ANALISIS..... | 57 |
| | 4.1 Pengujian Pengenalan Identitas Wajah..... | 57 |
| | 4.1.1 Reinterpretasi Citra Wajah Agnes Monica..... | 57 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 4.1.2 | Reinterpretasi Citra Wajah Dian Sastrowardoyo..... | 59 |
| 4.1.3 | Reinterpretasi Citra Wajah Bunga Citra Lestari..... | 61 |
| 4.1.4 | Reinterpretasi Citra Wajah Farah Quinn..... | 63 |
| 4.1.5 | Reinterpretasi Citra Wajah Dude Harlino..... | 65 |
| 4.1.6 | Reinterpretasi Citra Wajah Syahrini..... | 67 |
| 4.1.7 | Reinterpretasi Citra Wajah Susilo Bambang Yudhoyono... | 69 |
| 4.1.8 | Reinterpretasi Citra Wajah Tri Rismaharini..... | 71 |
| 4.1.9 | Reinterpretasi Citra Wajah Barrack Obama..... | 73 |
| 4.1.10 | Reinterpretasi Citra Wajah Maher Zain..... | 75 |
| 4.2 | Pengujian Pengenalan Ekspresi Wajah..... | 75 |
| 4.2.1 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-1 Dengan Ekspresi Happy..... | 77 |
| 4.2.2 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-2 Dengan Ekspresi Happy..... | 79 |
| 4.2.3 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-3 Dengan Ekspresi Sad... | 81 |
| 4.2.4 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-4 Dengan Ekspresi Sad... | 83 |
| 4.2.5 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-5 Dengan Ekspresi Disgust..... | 85 |
| 4.2.6 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-6 Dengan Ekspresi Disgust..... | 87 |
| 4.2.7 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-7 Dengan Ekspresi Fear.. | 89 |
| 4.2.8 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-8 Dengan Ekspresi Fear.. | 91 |
| 4.2.9 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-9 Dengan Ekspresi Angry..... | 93 |
| 4.2.10 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-10 Dengan Ekspresi Angry..... | 95 |
| 4.2.11 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-11 Dengan Ekspresi Surprise..... | 97 |
| 4.2.12 | Reinterpretasi Citra Wajah Ke-12 Dengan Ekspresi Surprise..... | 99 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA..... | 103 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 103 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 5.2 Penelitian Selanjutnya..... | 104 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 105 |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS..... | 107 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 1.1 | Delaunay triangulation..... | 2 |
| Gambar 1.2 | Triangulasi pada citra wajah manusia dengan menggunakan pendekatan luminansi..... | 3 |
| Gambar 2.1 | Citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono dan hasil reinterpetasinya berupa karikatur..... | 5 |
| Gambar 2.2 | Citra wajah Obama dan hasil reinterpetasinya berupa vector art potrait oleh Roberlan..... | 6 |
| Gambar 2.3 | Citra wajah Soekarno dan hasil reinterpetasinya berupa Wedha's pop art potrait (WPAP)..... | 6 |
| Gambar 2.4 | Citra wajah Bunga Citra Lestari dan hasil reinterpetasinya berupa vector art triangulation oleh Usman Yulianto..... | 7 |
| Gambar 2.5 | Vector art triangulation pada citra wajah oleh Antown..... | 9 |
| Gambar 2.6 | Vector art triangulation pada citra binatang oleh Antown..... | 9 |
| Gambar 2.7 | Representasi citra digital dalam dimensi dua..... | 10 |
| Gambar 2.8 | Ilustrasi simpul segitiga..... | 12 |
| Gambar 2.9 | Perspektif dari sebuah mesh triangulasi tidak teratur..... | 13 |
| Gambar 2.10 | Mesh terstruktur dan mesh tidak terstruktur..... | 14 |
| Gambar 2.11 | (a) Bukan Delaunay triangulation, (b) Delaunay triangulation..... | 15 |
| Gambar 2.12 | Delaunay triangulation menurut keriteria pada gambar abjad D... 16 | 16 |
| Gambar 2.13 | Triangulasi Delaunay dengan circumcircle sebagai kriteria Delaunay..... | 17 |
| Gambar 2.14 | Konstruksi dari triangulasi Delaunay dengan menyisipkan vertek..... | 17 |
| Gambar 2.15 | Voronoi dimensi dua dengan lima vertek..... | 18 |
| Gambar 2.16 | Ilustrasi dualitas Delaunay dan Voronoi..... | 19 |
| Gambar 2.17 | Penentuan segitiga awal..... | 20 |
| Gambar 2.18 | (a) Perubahan sisi segitiga, (b) Struktur diagram pohon bertambah dengan leaf baru..... | 21 |
| Gambar 2.19 | Dua kemungkinan triangulasi..... | 22 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.20 | Sisi pembentuk segitiga legal atau ilegal berdasarkan pada kriteria sudut optimal (Theorema Tale)..... | 23 |
| Gambar 2.21 | Proses Delaunay triangulation dengan flip X_iX_j menjadi X_rX_l | 24 |
| Gambar 2.22 | Hasil akhir proses triangulasi Delaunay..... | 24 |
| Gambar 2.23 | Macam-macam variasi fitur pada Haar..... | 26 |
| Gambar 2.24 | Integral image..... | 27 |
| Gambar 2.25 | Model classifier secara cascade..... | 29 |
| Gambar 2.26 | Landmark yang cocok..... | 30 |
| Gambar 2.27 | Perbedaan gelap terang warna pada wilayah bagian permukaan Citra wajah manusia..... | 32 |
| Gambar 2.28 | Perbedaan model warna HSL dan HSV..... | 33 |
| Gambar 2.29 | Warna-warna hue..... | 34 |
| Gambar 2.30 | Warna biru dengan saturation..... | 34 |
| Gambar 2.31 | Warna hijau dengan lightness..... | 35 |
| Gambar 3.1 | Alur proses penelitian..... | 38 |
| Gambar 3.2 | Citra wajah manusia..... | 39 |
| Gambar 3.3 | Fitur alis mata kanan dan alis mata kiri..... | 40 |
| Gambar 3.4 | Landmark dan penomoran pada fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri..... | 41 |
| Gambar 3.5 | Fitur mata kanan dan mata kiri..... | 41 |
| Gambar 3.6 | Landmark dan penomoran pada fitur mata kanan dan kiri..... | 41 |
| Gambar 3.7 | Fitur hidung..... | 42 |
| Gambar 3.8 | Landmark dan penomoran pada fitur hidung..... | 42 |
| Gambar 3.9 | Fitur mulut..... | 43 |
| Gambar 3.10 | Landmark dan penomoran pada fitur mulut..... | 43 |
| Gambar 3.11 | Fitur lengkungan wajah..... | 43 |
| Gambar 3.12 | Landmark dan penomoran pada fitur lengkungan wajah..... | 44 |
| Gambar 3.13 | Hasil penambahan titik-titik pada fitur alis mata bagian bawah.... | 45 |
| Gambar 3.14 | Hasil penambahan titik-titik pada fitur hidung..... | 46 |
| Gambar 3.15 | Hasil penambahan titik-titik pada area dahi..... | 46 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.16 | Transformasi bentuk triangulasi Delaunay dengan algoritma Delaunay triangulation, (a) 6 titik, (b) 7 titik, (c) 8 titik..... | 47 |
| Gambar 3.17 | Proses Delaunay triangulation, (a) Triangulasi dengan 6 titik, (b) Triangulasi hasil flip X_iX_j , (c) Triangulasi hasil flip X_iX_l dan X_mX_l | 48 |
| Gambar 3.18 | Pohon faktor Delaunay triangulation..... | 49 |
| Gambar 3.19 | (a) dan (b) Menambahkan titik T dan U serta hasil transformasi triangulasi Delaunay..... | 47 |
| Gambar 3.20 | Mesh triangulasi Delaunay pada citra wajah manusia..... | 51 |
| Gambar 3.21 | Mesh triangulasi dan wireframe dengan menggunakan warna citra..... | 52 |
| Gambar 3.22 | Mesh triangulasi dan wireframe dengan menggunakan variasi warna citra..... | 53 |
| Gambar 3.23 | Mesh triangulasi berdimensi tiga..... | 55 |
| Gambar 4.1 | Citra wajah Agnes Monica..... | 57 |
| Gambar 4.2 | Reinterpretasi citra wajah Agnes Monica..... | 58 |
| Gambar 4.3 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Agnes Monica..... | 59 |
| Gambar 4.4 | Citra wajah Dian Sastrowardoyo..... | 59 |
| Gambar 4.5 | Reinterpretasi citra wajah Dian Sastrowardoyo..... | 60 |
| Gambar 4.6 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Dian Sastrowardoyo..... | 60 |
| Gambar 4.7 | Citra wajah Bunga Citra Lestari..... | 61 |
| Gambar 4.8 | Reinterpretasi citra wajah Bunga Citra Lestari..... | 62 |
| Gambar 4.9 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Bunga Citra Lestari..... | 62 |
| Gambar 4.10 | Citra wajah Farah Quinn..... | 63 |
| Gambar 4.11 | Reinterpretasi citra wajah Farah Quinn..... | 64 |
| Gambar 4.12 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Farah Quinn..... | 64 |
| Gambar 4.13 | Citra wajah Dude Harlino..... | 65 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.14 | Reinterpretasi citra wajah Dude Harlino..... | 66 |
| Gambar 4.15 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Dude Harlino..... | 66 |
| Gambar 4.16 | Citra wajah Syahrini..... | 67 |
| Gambar 4.17 | Reinterpretasi citra wajah Syahrini..... | 68 |
| Gambar 4.18 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Syahrini..... | 68 |
| Gambar 4.19 | Citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono..... | 69 |
| Gambar 4.20 | Reinterpretasi citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono..... | 70 |
| Gambar 4.21 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Susilo Bambang Yudhoyono..... | 70 |
| Gambar 4.22 | Citra wajah Tri Rismaharini..... | 71 |
| Gambar 4.23 | Reinterpretasi citra wajah Tri Rismaharini..... | 72 |
| Gambar 4.24 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Tri Rismaharini..... | 72 |
| Gambar 4.25 | Citra wajah Barrack Obama..... | 73 |
| Gambar 4.26 | Reinterpretasi citra wajah Barrack Obama..... | 74 |
| Gambar 4.27 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Barrack Obama..... | 74 |
| Gambar 4.28 | Citra wajah Maher Zain..... | 75 |
| Gambar 4.29 | Reinterpretasi citra wajah Maher Zain..... | 76 |
| Gambar 4.30 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Maher Zain..... | 76 |
| Gambar 4.31 | Citra wajah ke-1 dengan ekspresi happy..... | 77 |
| Gambar 4.32 | Reinterpretasi citra wajah ke-1 dengan ekspresi happy..... | 78 |
| Gambar 4.33 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah happy pada citra wajah ke-1..... | 79 |
| Gambar 4.34 | Citra wajah ke-2 dengan ekspresi happy..... | 79 |
| Gambar 4.35 | Reinterpretasi citra wajah ke-2 dengan ekspresi happy..... | 80 |
| Gambar 4.36 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah happy pada citra wajah ke-2..... | 81 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.37 | Citra wajah ke-3 dengan ekspresi sad..... | 81 |
| Gambar 4.38 | Reinterpretasi citra wajah ke-3 dengan ekspresi sad..... | 82 |
| Gambar 4.39 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah sad pada citra wajah ke-3..... | 83 |
| Gambar 4.40 | Citra wajah ke-4 dengan ekspresi sad..... | 83 |
| Gambar 4.41 | Reinterpretasi citra wajah ke-4 dengan ekspresi sad..... | 84 |
| Gambar 4.42 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah sad pada citra wajah ke-4..... | 85 |
| Gambar 4.43 | Citra wajah ke-5 dengan ekspresi disgust..... | 85 |
| Gambar 4.44 | Reinterpretasi citra wajah ke-5 dengan ekspresi disgust..... | 86 |
| Gambar 4.45 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah disgust pada citra wajah ke-5..... | 87 |
| Gambar 4.46 | Citra wajah ke-6 dengan ekspresi disgust..... | 87 |
| Gambar 4.47 | Reinterpretasi citra wajah ke-6 dengan ekspresi disgust..... | 88 |
| Gambar 4.48 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah disgust pada citra wajah ke-6..... | 89 |
| Gambar 4.49 | Citra wajah ke-7 dengan ekspresi fear..... | 89 |
| Gambar 4.50 | Reinterpretasi citra wajah ke-7 dengan ekspresi fear..... | 90 |
| Gambar 4.51 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah fear pada citra wajah ke-7..... | 91 |
| Gambar 4.52 | Citra wajah ke-8 dengan ekspresi fear..... | 91 |
| Gambar 4.53 | Reinterpretasi citra wajah ke-8 dengan ekspresi fear..... | 92 |
| Gambar 4.54 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah fear pada citra wajah ke-8..... | 93 |
| Gambar 4.55 | Citra wajah ke-9 dengan ekspresi angry..... | 93 |
| Gambar 4.56 | Reinterpretasi citra wajah ke-9 dengan ekspresi angry..... | 94 |
| Gambar 4.57 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah angry pada citra wajah ke-9..... | 95 |
| Gambar 4.58 | Citra wajah ke-10 dengan ekspresi angry..... | 95 |
| Gambar 4.59 | Reinterpretasi citra wajah ke-10 dengan ekspresi angry..... | 96 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.60 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah angry pada citra wajah ke-10..... | 97 |
| Gambar 4.61 | Citra wajah ke-11 dengan ekspresi surprise..... | 97 |
| Gambar 4.62 | Reinterpretasi citra wajah ke-11 dengan ekspresi surprise..... | 98 |
| Gambar 4.63 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah surprise pada citra wajah ke-11..... | 99 |
| Gambar 4.64 | Citra wajah ke-12 dengan ekspresi surprise..... | 99 |
| Gambar 4.65 | Reinterpretasi citra wajah ke-12 dengan ekspresi surprise..... | 100 |
| Gambar 4.66 | Diagram presentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah surprise pada citra wajah ke-12..... | 101 |

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Widyasari lahir di Surabaya pada tanggal 20 September 1989. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Henry Bambang Setyawan dan Ibu Prihanantiastuti Susilowati. Penulis memulai pendidikan di SDN Pucang 2 Sidoarjo. Lalu melanjutkan di SLTPN 2 Sidoarjo. Penulis menempuh jenjang pendidikan selanjutnya di SMAN 1 Magetan. Pada tahun 2007 penulis melanjutkan pendidikan jenjang Strata Satu di Bidang Studi Desain Komunikasi Visual, Jurusan Desain Produk Industri, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan lulus tahun 2011 dengan gelar Sarjana Teknik. Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Magister Pascasarjana Bidang Studi Jaringan Cerdas Multimedia – Konsentrasi Teknologi Permainan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis telah melaksanakan ujian tesis pada bulan Januari 2015. Penulis dapat dihubungi melalui email: wdsr89@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

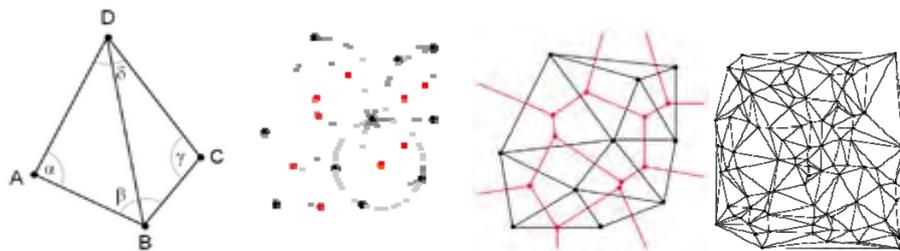
Perkembangan teknologi di bidang komputer saat ini telah berkembang didorong oleh keinginan manusia yang selalu menampilkan atau membuat sesuatu yang baru. Salah satu perkembangan teknologi yang terus diteliti hingga saat ini adalah seni dan desain. Seni dan desain merupakan suatu bidang ilmu yang mengutamakan keindahan dan estetika melalui visualisasi. Terkait dengan perkembangan seni dan desain, belakangan ini populer dengan munculnya gaya desain baru yakni *vector art triangulation*.

Vector art triangulation merupakan salah satu gaya desain yang unik dan khas dengan bentukan segitiga (*triangle*). Hasil dari pembuatan *vector art triangulation* ini berupa reinterpretasi atau kemiripan dengan objek aslinya. Sedangkan tahapan pengerjaannya dilakukan dengan cara manual menggunakan *graphic software* tertentu, di mana kebutuhan waktu yang panjang serta kinerja manusia menjadi kendala dalam proses pembuatan *vector art triangulation* ini.

Bermula dari munculnya kebutuhan akan keefektifan waktu pengerjaan serta kinerja desainer diperlukan perkembangan teknologi yang mampu meminimalisasi permasalahan tersebut. Teknik pengolahan citra merupakan perkembangan teknologi yang dapat melakukan proses otomatisasi (*non-manual*) pada pembuatan *vector art triangulation*. Dalam penelitian ini, pengolahan citra dilakukan pada objek *portrait* atau citra wajah manusia untuk menghasilkan gaya visual *triangulation* sebagai reinterpretasi dari citra wajah aslinya.

Dalam bidang *engineering*, teknik pengolahan citra wajah manusia untuk menghasilkan *vector art triangulation* secara otomatisasi dapat diciptakan dengan menggunakan metode *triangulation*. Dalam trigonometri dan geometri dasar, *triangulation* merupakan proses pencarian koordinat dan jarak sebuah titik (*edge*) dengan mengukur sudut antara titik tersebut dan dua titik referensi lainnya yang telah diketahui posisi dan jarak antara keduanya. Koordinat dan jarak ditentukan dengan menggunakan hukum sinus.

Pencapaian penggunaan metode *triangulation* ini adalah citra wajah manusia akan menghasilkan titik-titik (*vertex*) untuk setiap *pixel* sebagai data koordinat (x,y) kemudian membentuk tautan pola segitiga (*triangle*) melalui sebuah algoritma yakni *Delaunay triangulation*.



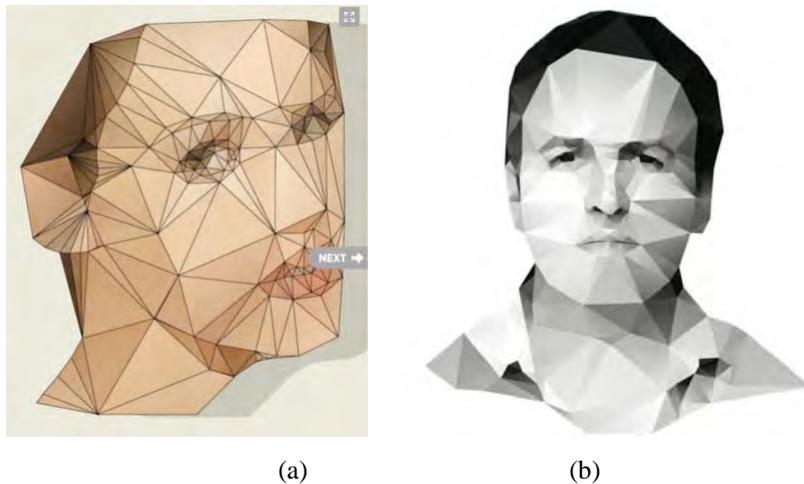
Gambar 1.1. *Delaunay Triangulation*
Sumber (*Delaunay triangulation*)

Selain menggunakan algoritma *Delaunay triangulation* untuk membentuk tautan pola segitiga, penelitian ini juga akan menggunakan metode *face tracking* yakni *Active Appearance Model* (AAM) yang berperan mendeteksi fitur-fitur wajah manusia yang dianggap penting untuk setiap citra wajah manusia yang berbeda. Penggunaan AAM bertujuan untuk normalisasi jumlah titik-titik (*vertex*) dengan tanpa menghilangkan titik-titik yang dianggap penting pada citra wajah manusia. Setiap tiga titik akan saling terhubung dengan menggunakan algoritma *Delaunay triangulation* dan membentuk *mesh* triangulasi *Delaunay*.

Selanjutnya terkait dengan pendekatan luminansi, dimana setiap wilayah bagian pada citra wajah manusia memiliki warna dengan tingkat kecerahan yang berbeda, maka setiap *mesh* triangulasi yang terbentuk akan memiliki gelap terang warna yang berbeda pula. Pada penelitian ini, untuk menentukan warna setiap *mesh* triangulasi akan digunakan nilai tengah warna citra dengan berpatokan pada daerah *mesh* triangulasi yang melapisi citra tersebut. Kemudian untuk menghasilkan variasi warna citra pada *mesh* triangulasi, dapat dilakukan dengan mengatur nilai *hue* dan/atau nilai *saturation*.

Pemberian nilai kedalaman pada titik-titik (*vertex*) dengan berpedoman pada kontur wajah manusia dilakukan untuk menghasilkan *mesh* triangulasi yang

berdimensi tiga. Kegunaan pendekatan luminansi pada pengolahan citra wajah manusia dengan gaya visual *triangulation* dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Triangulasi citra wajah manusia dengan pendekatan luminansi, (a) Triangulasi dengan warna citra, (b) Triangulasi dengan variasi warna citra
Sumber (*Triangle grid potrait*)

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana menghasilkan reinterpretasi pada permukaan citra wajah manusia menggunakan gaya visual *triangulation* dengan menyesuaikan tahapan dasar pengerjaan *vector art triangulation* secara manual namun dikemas menggunakan teknologi otomasi (*non-manual*).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian dengan judul ***“Reinterpretasi Permukaan Dimensi Tiga Menggunakan Metode Delaunay Triangulation Dengan Pendekatan Luminansi Pada Citra Wajah Manusia”*** ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Menentukan letak dan jumlah titik-titik (*vertex*) pada permukaan citra wajah manusia.
2. Membentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* pada permukaan citra wajah manusia dengan menggunakan algoritma *Delaunay triangulation*.
3. Memberikan warna pada *mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk dengan menggunakan nilai tengah warna citra yang dibatasi oleh daerah *mesh* triangulasi.

4. Memberikan nilai kedalaman pada titik-titik (*vertex*) dengan berpedoman pada kontur wajah manusia.
5. Menerapkan gaya visual *triangulation* pada citra wajah manusia yang berbeda.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yang dapat dijadikan sebagai tahapan-tahapan penelitian yakni dapat terkenal identitas dan ekspresi dari hasil reinterpetasi citra wajah manusia yang menggunakan gaya visual *triangulation*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini adalah munculnya suatu teknologi otomasi (*non-manual*) untuk menghasilkan reinterpetasi citra wajah manusia dengan gaya visual *triangulation*.

BAB 2

DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

2.1 Reinterpretasi Citra Wajah

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KKBI), definisi reinterpretasi adalah penafsiran kembali (ulang) atau cara menafsirkan kembali terhadap interpretasi yang sudah ada. Sehingga reinterpretasi citra wajah merupakan penafsiran kembali citra wajah dengan menggunakan suatu cara atau proses. Dalam bidang desain grafis, beberapa cara dapat digunakan untuk menafsirkan kembali (ulang) citra wajah, antara lain menggunakan karikatur wajah, *vector art portrait*, *Wedha's pop art portrait (WPAP)*, dan *vector art triangulation potrait*.

2.1.1 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan Karikatur

Gambar 2.1 merupakan karikatur Susilo Bambang Yudhoyono sebagai hasil penafsiran kembali (ulang) dari citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono.



Gambar 2.1 Citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono dan hasil reinterpetasinya berupa karikatur

2.1.2 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan *Vector Art Potrait*

Gambar 2.2 merupakan *vector art potrait* Obama sebagai hasil penafsiran kembali (ulang) dari citra wajah Obama.



Gambar 2.2 Citra wajah Obama dan hasil reinterpretasinya berupa *vector art potrait* oleh Roberlan

2.1.3 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan *Wedha's Pop Art Potrait (WPAP)*

Gambar 2.3 merupakan *Wedha's pop art potrait (WPAP)* Soekarno sebagai hasil penafsiran kembali (ulang) dari citra wajah Soekarno.



Gambar 2.3 Citra wajah Soekarno dan hasil reinterpretasinya berupa *Wedha's pop art potrait (WPAP)*

2.1.4 Reinterpretasi Citra Wajah Dengan *Vector Art Triangulation Potrait*

Gambar 2.4 merupakan *vector art triangulation potrait* Bunga Citra Lestari sebagai hasil penafsiran kembali (ulang) dari citra wajah Bunga Citra Lestari.



Gambar 2.4 Citra wajah Bunga Citra Lestari dan hasil reinterpetasinya berupa *vector art triangulation potrait* oleh Usman Yulianto

2.2 Vector Art Triangulation

Vector art triangulation merupakan perkembangan dari *pop art design* yaitu seni dan desain asli Indonesia dengan gaya visual yang unik dan khas. Perbedaan yang menonjol antara *vector art triangulation* dengan *pop art design* adalah terletak pada kata *triangulation*. *Vector art triangulation* menggunakan gaya visual dengan bentuk geometri yakni segitiga (*triangle*), sedangkan *pop art design* menggunakan bentuk bebas atau bukan geometri. Dikarenakan *vector art triangulation* menggunakan gaya visual berbentuk segitiga, belakangan ini *vector art triangulation* lebih sering digunakan dalam pembuatan desain dengan tema modernisasi.

Gaya visual segitiga pada *vector art triangulation* dapat diterapkan pada citra yang beragam yakni pada citra manusia, binatang, *landscape*, transportasi, dan sebagainya. Beberapa desainer grafis membuat *vector art triangulation* pada citra wajah manusia (*potrait*) bahkan hingga pada keseluruhan tubuh manusia. *Vector art triangulation* menghasilkan gaya visual yang berbeda dengan citra aslinya, tetapi hasil dari *vector art triangulation* tetap dapat dikenali dan diidentifikasi.

2.2.1 Pembuatan *Vector Art Triangulation*

Langkah awal pada pembuatan *vector art triangulation* ini adalah memilih sudut pandang (*angle*) atau posisi yang tepat untuk setiap objek pada citra yang akan diolah menjadi *vector art triangulation*. Sudut pandang atau posisi objek akan mempengaruhi jatuhnya cahaya pada wilayah bagian objek, sehingga gelap terang warna objek akan nampak pada warna citra tersebut. Gelap terang warna citra ini yang akan menjadi dasar penentuan titik-titik serta pemberian warna pada setiap segitiga.

Langkah selanjutnya adalah menentukan titik-titik pada permukaan citra sebagai acuan dari terbentuknya segitiga. *Software* grafis tertentu sebagai pengolah *vector art triangulation* digunakan untuk menyelesaikan tahapan demi tahapan pada proses pembuatannya. Masukan sebuah citra pada *software* grafis adalah berupa citra berdimensi dua dengan format (.jpg) atau (.png). Desainer akan memetakan dengan *detail* setiap wilayah bagian pada citra terutama pada wilayah bagian yang mempunyai warna yang berbeda. Desainer memberikan tanda berupa tiga titik menggunakan *tool* yang ada pada *software* grafis yang digunakan. Setiap tiga titik akan saling terhubung dengan garis, sehingga menghasilkan sebuah segitiga. Langkah ini dilakukan berulang-ulang hingga keseluruhan area citra yang diinginkan. Setiap segitiga yang dihasilkan akan beragam (*non-homogen*), baik untuk ukuran maupun bentuk segitiga, hal ini disebabkan karena perbedaan dimensi area gelap terang warna pada citra.

Langkah yang terakhir merupakan penyempurnaan dalam pembuatan *vector art triangulation* yakni pemberian warna untuk setiap segitiga yang telah terbentuk. Teknik penentuan warna untuk setiap segitiga adalah berpedoman pada gelap terang warna yang nampak pada citra. Setiap segitiga tidak selalu menggunakan warna yang sama dengan warna yang nampak pada objek, akan tetapi perbandingan gelap terang warna untuk setiap segitiga adalah dengan menyesuaikan gelap terang warna pada citra. Hasil dari langkah terakhir ini juga dapat memberikan efek dimensi tiga pada *vector art triangulation* yang dihasilkan.

Keseluruhan dari kesempurnaan pembuatan *vector art triangulation* ini terletak pada sudut pandang atau posisi objek pada citra yang digunakan, penentuan jumlah dan peletakan titik-titik pada permukaan citra, serta pemilihan dan pemberian warna pada setiap segitiga. Hasil dari pembuatan *vector art triangulation* oleh desainer Antown dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5. *Vector Art Triangulation* pada citra wajah oleh Antown
Sumber (Desain Grafis Indonesia)



Gambar 2.6 *Vector Art Triangulation* pada citra binatang oleh Antown
Sumber (Desain Grafis Indonesia)

2.3 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (*digital image processing*) adalah sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik mengolah citra. Citra yang dimaksud adalah gambar diam (foto) maupun gambar bergerak (berasal dari *webcam*). Sedangkan digital mempunyai arti bahwa pengolahan citra atau gambar dilakukan secara digital menggunakan komputer.

Secara matematis, citra merupakan fungsi kontinyu (*continue*) dengan intensitas cahaya pada bidang dimensi dua. Agar dapat diolah dengan komputer

digital, maka suatu citra harus dipresentasikan secara numerik dengan nilai-nilai diskrit. Representasi dari fungsi kontinu menjadi nilai-nilai diskrit disebut sebagai digitalisasi citra.

Sebuah citra digital dapat diwakili oleh sebuah matriks dimensi dua $f(x,y)$ yang terdiri dari M kolom dan N baris di mana perpotongan antara kolom dan baris disebut sebagai piksel (*pixel = picture element*) atau elemen terkecil dari sebuah citra.

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad \dots(2.1)$$

Suatu citra $f(x,y)$ dalam fungsi matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq M-1 \\ 0 \leq y \leq N-1 \\ 0 \leq f(x,y) \leq G-1 \end{aligned}$$

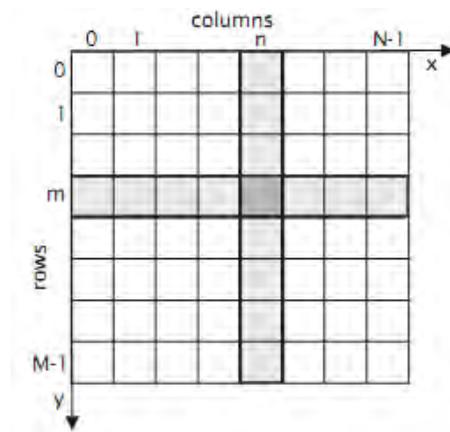
Dimana:

- M = Jumlah piksel baris (*row*) pada array citra
- N = Jumlah piksel kolom (*coloumn*) pada array citra
- G = Nilai skala keabuan (*graylevel*)

Besarnya nilai M , N , dan G pada umumnya merupakan perpangkatan dari dua.

$$M = 2^m; N = 2^n; G = 2^k \quad \dots(2.2)$$

Di mana nilai m , n , dan k adalah bilangan bulat positif.



Gambar 2.7 Representasi citra digital dalam dimensi dua

Interval (0, G) disebut skala keabuan (*grayscale*). Besar G tergantung pada proses digitalisasinya. Biasanya keabuan 0 (nol) menyatakan intensitas hitam dan 1 (satu) menyatakan intensitas putih. Untuk citra 8 bit, nilai G sama dengan $2^8 = 256$ warna (derajat keabuan).

2.4 Teori Graf

Teori graf merupakan pokok bahasan yang telah lampau usianya, namun mempunyai banyak terapan hingga saat ini. Graf digunakan untuk mempresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Representasi visual dari graf dinyatakan sebagai noktah, bulatan, atau titik, sedangkan hubungan antara objek dinyatakan sebagai garis.

2.4.1 Definisi Graf

Graf (G) didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V, E) yang dalam hal ini dijabarkan sebagai berikut:

$$V = \text{himpunan berhingga dan tidak kosong dari simpul-simpul (vertex)} \\ = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

dan

$$E = \text{himpunan sisi (edges) yang menghubungkan sepasang simpul} \\ = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$$

atau dapat ditulis singkat dengan notasi:

$$G = (G, E) \quad \dots(2.3)$$

Simpul pada graf dapat dinomori dengan huruf, seperti v, w, \dots , dengan bilangan asli $1, 2, 3, \dots$, atau gabungan keduanya. Sedangkan sisi yang menghubungkan simpul v_i dengan simpul v_j dinyatakan dengan pasangan (v_i, v_j) atau dengan lambang e_1, e_2, \dots . Dengan kata lain, jika e adalah sisi yang menghubungkan simpul v_i dengan simpul v_j , maka e dapat ditulis sebagai:

$$e = (v_i, v_j) \quad \dots(2.4)$$

Secara geometri, graf digambarkan sebagai sekumpulan titik-titik di dalam bidang tertentu yang dihubungkan dengan sekumpulan garis.

2.4.2 Terminologi Graf

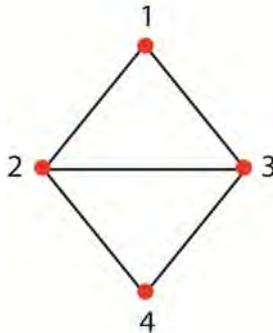
Dalam pembahasan mengenai graf, banyak penggunaan istilah yang berkaitan dengan graf. Berikut ini beberapa terminologi yang sering dipakai diantaranya:

1. Ketetanggaan (*Adjacent*)

Dua buah simpul dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung secara formal dinyatakan:

v_j bertetangga dengan v_k jika $\forall e \in E$ sedemikian sehingga $e = (v_j, v_k)$

Ilustrasi pada Gambar 2.8 dengan penjelasan bahwa simpul 1 bertetangga dengan simpul 2 dan 3 tetapi tidak bertetangga dengan simpul 4.



Gambar 2.8 Ilustrasi simpul segitiga

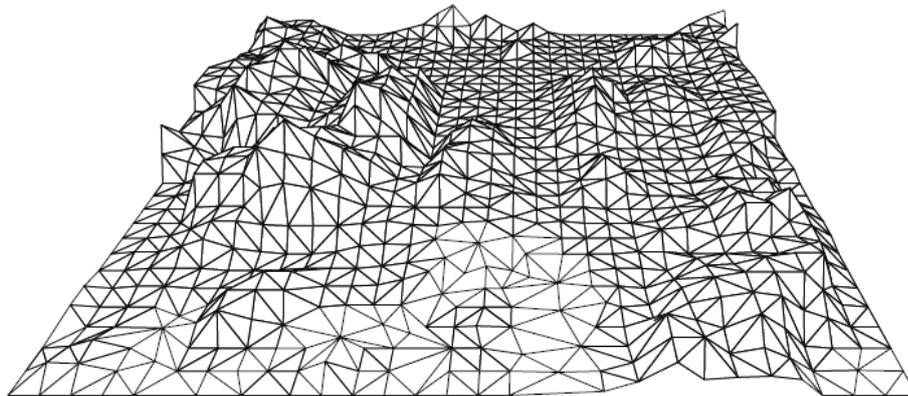
2. Bersisian (*Incidency*)

Untuk sembarang sisi $e = (v_k, v_j)$ dikatakan e bersisian dengan simpul v_j atau e bersisian dengan simpul v_k . Contohnya pada Gambar 2.4 sisi 2 dan 3 bersisian dengan simpul 2 dan 3. Sisi 2 dan 4 bersisian dengan simpul 2 dan 4, tetapi sisi 1 dan 2 tidak bersisian dengan simpul 4.

2.5 Mesh Pada Permukaan

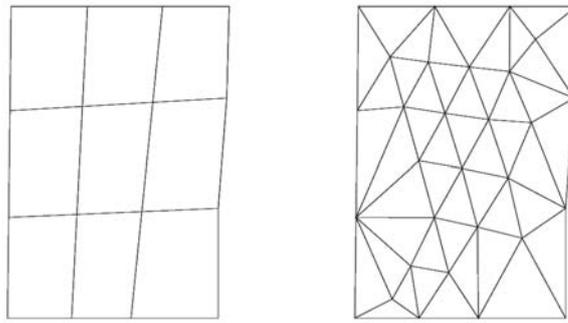
Istilah *mesh* secara umum dapat digambarkan sebagai sejumlah titik (*point*) yang terhubung dalam beberapa jalur dengan garis. Koneksi antar titik tersebut harus terhubung minimal tiga garis jalur. Pendekatan minimal tiga garis tersebut dinyatakan dengan triangulasi.

Di dalam dunia komputer grafik istilah titik dan garis pada *mesh* lebih tepat disebut sebagai *vertex* (titik-*node-point*) dan *edges* (pinggiran-tepian). Dengan demikian jalinan titik tersebut dapat dirajut dengan memberikan tekstur tertentu, sehingga permukaan dari triangulasi menjadi mempunyai spesifikasi bentuk.



Gambar 2.9 Persepektif dari sebuah *mesh* triangulasi tidak teratur
Sumber (Berg, Cheong, Kreveld, & Overmars, 2008)

Pada generasi penggolongan reka bentuk *mesh* terdapat dua jenis *mesh*, yaitu *mesh* yang terstruktur dan *mesh* yang tidak terstruktur. *Mesh* yang terstruktur mempunyai topologi sama, artinya dalam bentuk grid dan triangulasi atau pun persegi. Dengan demikian *mesh* yang terstruktur akan memudahkan dalam mengidentifikasi dan mencari titik tetangga. Sedangkan *mesh* yang tidak terstruktur akan saling terjalin berdasarkan data titik yang sudah diketahui dan tersimpan. Ini menjadikan dinamika koneksi antar titik dalam optimasi pemilihan titik tetangga terdekat.



Gambar 2.10 *Mesh* terstruktur dan *mesh* tidak terstruktur
 Sumber (Berg, Cheong, Kreveld, & Overmars, 2008)

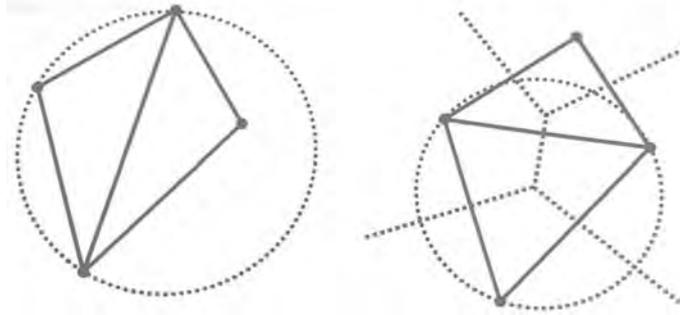
2.6 Delaunay Triangulation

Triangulation berasal dari kata *triangle* yang berarti segitiga. Secara sederhana, *triangulation* merupakan sebuah *graf planar* yang berbentuk segitiga. Dalam istilah trigonometri atau geometri dasar, *triangulation* adalah sebuah proses untuk menemukan koordinat dan jarak ke sebuah titik dengan menghitung panjang salah satu sisi sebuah segitiga. Besar sudutnya yang diketahui dan sisi segitiga tersebut dibentuk dari sebuah titik dan dua titik lain yang telah diketahui letaknya dengan menggunakan hukum sinus.

Triangulation merupakan suatu metode pembangkitan jalinan segitiga pola reka bentuk yang saling terhubung (*mesh*). Di mana jalinan tersebut terdapat sekumpulan titik-titik yang membentuk pola. Tiga titik dihubungkan dengan tiga garis (*edge*) yang berturut-turut sehingga membentuk sebuah pola segitiga (*triangle*). Untuk menggunakan *mesh* yang menerapkan *triangulation*, langkah pertama yang dilakukan adalah mengikuti aturan dan struktur titik-titik (*vertex*).

Pada bidang dimensi dua, *triangulation* merupakan pembentukan jala-jala segitiga pada bidang datar (poligon) yang ketiga titik segitiganya adalah titik sampel pada poligon tersebut. Sisi-sisinya berasal dari sisi-sisi poligon dan segmen garis yang menghubungkan titik-titik sampel. Tidak ada segmen garis yang saling berpotongan kecuali pada kedua titik ujung sisi segitiga. Sedangkan pada bidang dimensi tiga, *triangulation* merupakan metode untuk mendapatkan himpunan limas (*tetrahedron*) dari himpunan titik-titik yang berada di dalam bidang cembung (*convex hull*).

Delaunay triangulation adalah triangulasi yang unik dengan syarat titik-titik segitiga yang terbentuk berada pada lingkaran dan tidak ada titik lain di dalam lingkaran tersebut. Untuk lebih jelasnya, perbandingan antara *Delaunay triangulation* dengan *triangulation* biasa dapat dibandingkan pada Gambar 2.11 (a) dan 2.11 (b).



Gambar 2.11 (a) Bukan *Delaunay Triangulation*,
(b) *Delaunay Triangulation*
Sumber (Zimmer, July 30, 2005)

Pada Gambar 2.11(a) lingkaran yang melewati sudut-sudut segitiga kiri menyebabkan sudut segitiga lain yang berimpit dengannya berada di dalam lingkaran, maka triangulasi yang demikian tidak memenuhi syarat *Delaunay triangulation*. Sebaliknya, pada gambar 2.11(b) lingkaran yang melewati sudut-sudut segitiga bawah tidak menyebabkan sudut segitiga lain yang berimpit dengannya berada dalam lingkaran, maka Gambar 2.11(b) memenuhi *Delaunay triangulation*. Garis-garis yang membentuk pusat-pusat lingkaran dan membentuk jaringan tersendiri disebut sebagai diagram *Voronoi*. Dalam hal ini diagram *Voronoi* adalah dual dari *Delaunay triangulation*, artinya himpunan *Delaunay triangulation* dapat diperoleh dari diagram *Voronoi*, dan sebaliknya diagram *Voronoi* dapat juga diperoleh dari himpunan *Delaunay triangulation*.

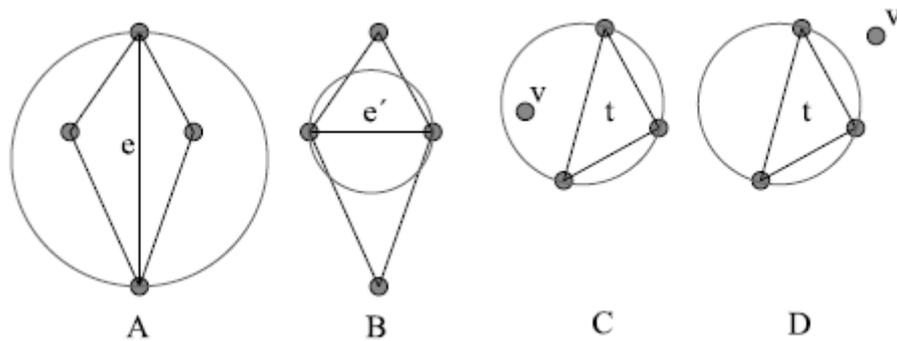
2.6.1 Kriteria Triangulasi *Delaunay*

Agar sebuah triangulasi menjadi *Delaunay*, terdapat kriteria *Delaunay* yaitu properti lingkaran (*circumcircle*) yang kosong dari vertek segitiga yang lain. Dikatakan seperti itu jika beberapa vertek saling terhubung pada satu lingkaran

tertentu dalam satu dimensi jari-jari yang sama. Kriteria tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tidak diijinkan ada vertek di dalam lingkaran tersebut,
2. Minimal terbentuk triangulasi dalam satu lingkaran,
3. Meskipun terbentuk triangulasi tetapi ada vertek independen di dalam lingkaran maka masih belum dikategorikan sebagai *Delaunay*.

Kriteria tersebut dapat dideskripsikan pada Gambar 2.12 yang memvalidasi kriteria triangulasi *Delaunay*.

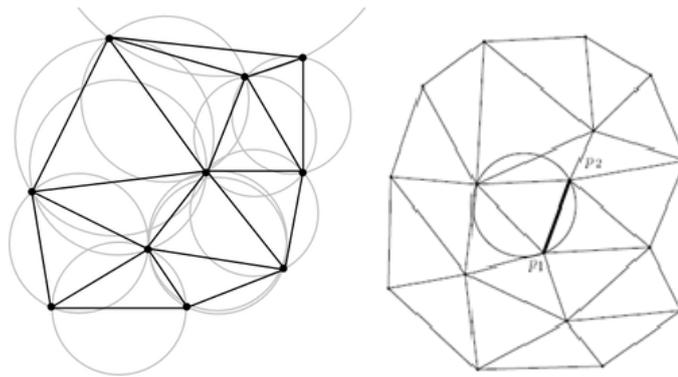


Gambar 2.12 *Delaunay triangulation* menurut kriteria pada gambar abjad D
Sumber (Zimmer, July 30, 2005)

Berikut ini merupakan pembahasan untuk setiap abjad dari Gambar 2.12, kemudian hasil dari kriteria *circumcircle* terdapat pada Gambar 2.13:

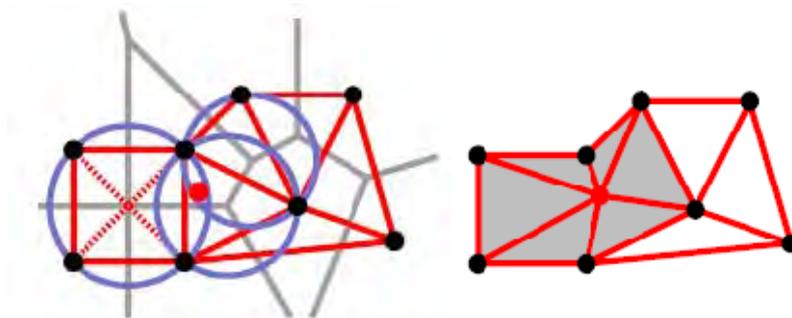
- A. Terdapat dua vertek yang terhubung pada notasi e pada lingkaran, tetapi terdapat dua vertek lainnya di dalam lingkaran yang tidak berpotongan dengan lingkaran, sehingga belum termasuk kriteria *Delaunay*.
- B. Notasi e' merupakan *Delaunay* karena berpotongan pada satu lingkaran, tetapi kriteria *Delaunay* menyatakan minimal tiga vertek untuk dapat menjadi triangulasi. Maka masih belum dinyatakan *Delaunay*.
- C. Pada triangulasi t sudah terbentuk dan berpotongan pada satu lingkaran, tetapi di dalam lingkaran tersebut terdapat vertek v yang berdiri bebas. Sehingga kondisi tersebut belum dikatakan *Delaunay*.

D. Letak triangulasi t sudah terhubung dan berpotongan pada satu lingkaran dan terdapat vertek v yang berada di luar lingkaran. Dengan kondisi demikian triangulasi t termasuk kriteria *Delaunay* dan dinyatakan sebagai triangulasi *Delaunay*.



Gambar 2.13 Triangulasi *Delaunay* dengan *circumcircle* sebagai kriteria *Delaunay*
Sumber (Carmichael, 2008)

Pada Gambar 2.14 di bawah ini, setiap segitiga yang berada di dalam lingkaran yang mendapati vertek sisipan akan dihapus. Kemudian vertek yang seharusnya untuk menghilangkan segitiga dikoneksikan ke vertek yang baru. Dengan adanya syarat tersebut, maka *Delaunay triangulation* membentuk himpunan segitiga yang efisien, membuat sudut minimum diantara semua triangulasi yang terbentuk oleh sekumpulan vertek.

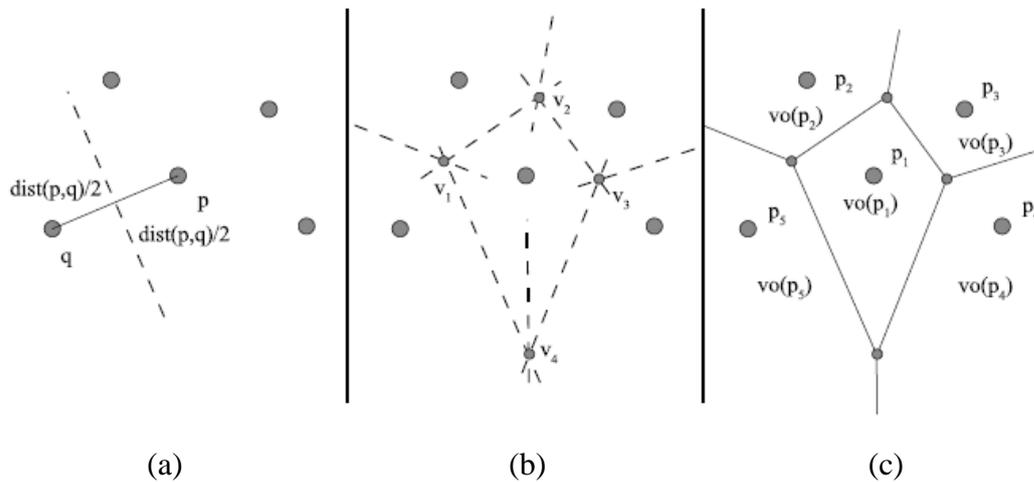


Gambar 2.14 Konstruksi dari triangulasi *Delaunay* dengan menyisipkan vertek
Sumber (Bertram, Konkle, Hagen, Hamam, & Joy, 2001)

2.6.2 Diagram Voronoi

Di dalam matematika, diagram *Voronoi* adalah salah satu jenis yang istimewa untuk bidang ruang matriks. Di mana lebih dispesifikan pada jarak diskrit suatu objek di suatu ruang contoh sekumpulan diskrit poin titik atau *vertex*.

Menurut Zimmer, 2005, *Delaunay triangulation Del (P)* terdapat sekumpulan set *point* $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ pada bidang R^n pada kasus ini adalah dua dimensi. Maka *Voronoi* diagram V atau (P) adalah bagian dari R^n ke dalam n daerah *polyhedral*. Setiap daerah diketahui sebagai sel *Voronoi* yang didenotasikan $vo(p)$ saling melingkupi dan berhubungan satu dengan lainnya pada tiap n *point*. Masing-masing *point* yang berdekatan tersebut ditarik garis tegak lurus.



Gambar 2.15 Voronoi dimensi dua dengan lima vertek
 Sumber (Zimmer, July 30, 2005)

Lebih tepatnya dengan $vo(p)$ menjadi sel *Voronoi* setiap *point* P dan set S dari setiap *point* sebagai berikut:

$$vo(p) = \{x \in R^d \mid dist(x,p) \leq dist(x,q) \forall q \in S \setminus \{p\}\} \quad \dots(2.5)$$

dimana $dist$ adalah fungsi *euclidian distance*

$$dist : R^d \times R^d \rightarrow R \quad \dots (2.6)$$

Gambar 2.15 di atas merupakan ilustrasi diagram *Voronoi*, sel *Voronoi* terbentuk setelah terjadi interseksi antar sel. Proses identifikasi *node* yang dikenal

titik p dan q kemudian ditarik garis lurus yang berseberangan [Gambar 2.15(a)]. Setelah itu ditentukan dengan fungsi *euclidian* yaitu:

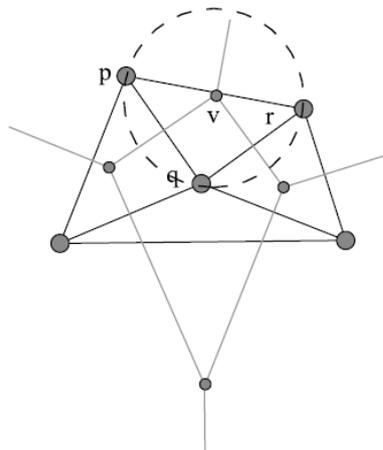
$$\text{dist}(p,q)/2 \quad \dots(2.7)$$

Kemudian hasil interaksi tersebut bertemu dalam satu titik temu [Gambar 2.15(b)]. Kemungkinan interaksi garis tersebut minimal 3 titik pertemuan yang dikenal vertek *Voronoi* v_i .

Selanjutnya dibuat parsial daerah *Voronoi* yang dikatakan sebagai $vo(p_i)$ [Gambar 2.15(c)]. Setiap parsial daerah tersebut saling berhimpitan yang dinyatakan sebagai sel *Voronoi*.

2.6.3 Dualitas *Delaunay* dan *Voronoi*

Setelah membahas satu per satu antara diagram *Voronoi* dan triangulasi *Delaunay*, berikutnya memperinci penjelasan hubungan antara keduanya. Setelah dijelaskan tentang *Voronoi* verteks yaitu interseksi titik pada tepian *Voronoi*, berperan pada sentral di dalam aturan *Delaunay*. Menurut Gambar 2.16 pusat lingkaran triangulasi berpusat di vertek *Voronoi* pada vertek v .



Gambar 2.16 Ilustrasi dualitas *Delaunay* dan *Voronoi*
Sumber (Zimmer, July 30, 2005)

Kemudian vertek sesungguhnya p,q,r saling berpotongan pada lingkaran yang terbentuk secara triangulasi. Kejadian seperti itu yang menjadi dasar triangulasi *Delaunay*. Secara spesifik, diagram *Voronoi* V atau (V) pada R^2 dan

triangulasi *Delaunay Del(V)* pada sekumpulan vertek V adalah dual satu sama lainnya.

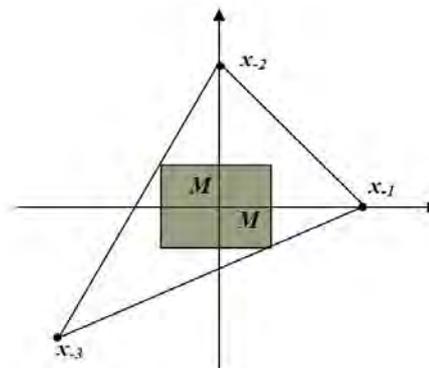
Pada disiplin ilmu komputer grafik umumnya pada teknik geometri sangat bersesuaian dengan triangulasi. Sebuah kecocokan triangulasi akan menjadi satu kesatuan tanpa garis (*edges*) yang saling tumpang tindih dan tanpa kegagalan dalam menghasilkan struktur. Secara umum, apa yang dicari adalah sebagai berikut:

Sebuah triangulasi T dari \mathbb{R}^n dua dimensi atau pun dengan dimensi ordo lebih, dengan n adalah dimensi ordo, di mana:

1. Setiap bagian dari triangulasi saling terkait oleh salah satu bagian triangulasi yang lain atau tidak sama sekali
2. Setiap batas di sekumpulan pada \mathbb{R}^n saling berpotongan hanya terbatas pada bagian triangulasi di T

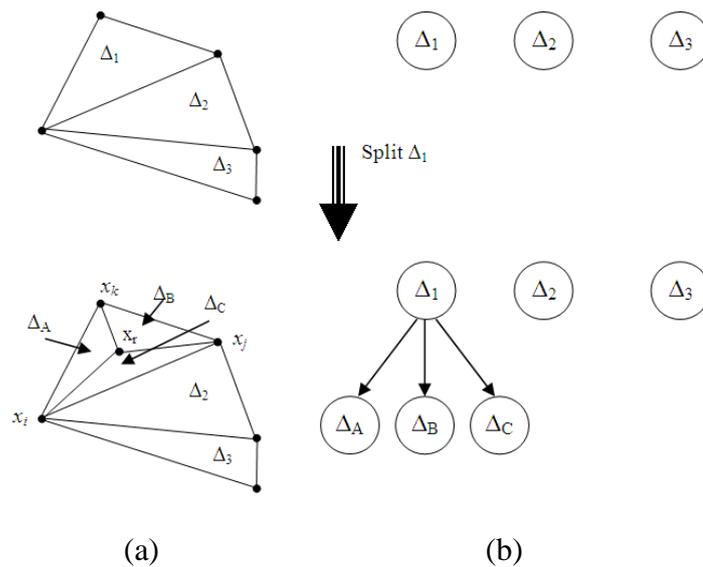
2.6.4 *Delaunay Triangulation Dengan Penyisipan Bertambah*

Algoritma dimulai dengan membentuk segitiga yang mengelilingi seluruh titik sampel sebagai segitiga acuan. Agar segitiga yang dibentuk cukup besar dan pasti mengelilingi seluruh titik sampel maka ketiga titik segitiga besar tersebut ditentukan sebagai berikut: $x_{-1} = (3, 0)$; $x_{-2} = (0, 3M)$; $x_{-3} = (-3M, -3M)$, di mana x_{-1} , x_{-2} , dan x_{-3} adalah titik-titik segitiga awal dengan indeks bernilai negatif untuk membedakan indeks titik-titik sampel X , dan M adalah nilai maksimum absolut dari titik-titik sampel X . Gambar 2.17 memperjelas keterangan di atas.



Gambar 2.17 Penentuan segitiga awal
Sumber (Sedyono, 2005)

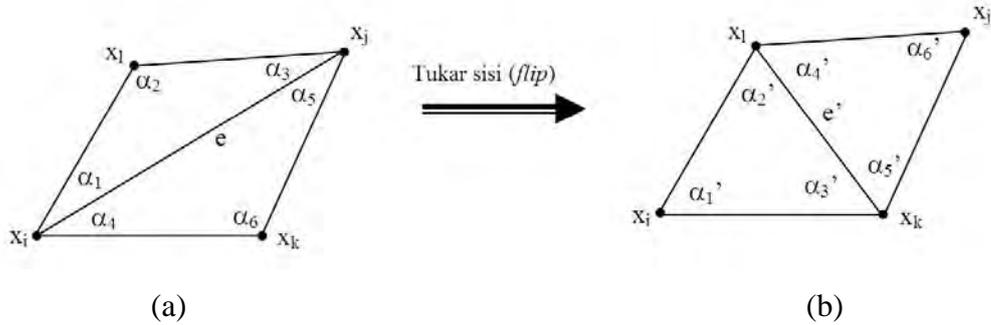
Proses berikutnya adalah memilih secara acak satu titik sampel untuk di lakukan retriangulasi dengan segitiga awal, terbentuklah tiga segitiga baru. Selanjutnya dipilih satu titik sampel berikutnya secara acak dan dilakukan retriangulasi dengan segitiga yang mengelilinginya. Proses demikian berlanjut terus sampai seluruh titik sampel membentuk jala-jala segitiga. Untuk memperjelas keterangan ini dapat dilihat Gambar 2.18. Pada Gambar 2.18(a) diasumsikan telah terbentuk tiga buah segitiga. Titik berikutnya yang terpilih secara acak adalah titik x_r yang kebetulan terletak di dalam segitiga Δ_l . Proses yang dilakukan adalah menghubungkan titik-titik segitiga Δ_l dengan x_r sehingga menjadi Δ_A , Δ_B dan Δ_C . Setiap kali terjadi perubahan sisi segitiga, struktur diagram pohon bertambah dengan *leaf* baru [lihat Gambar 2.18(b)].



Gambar 2.18 (a) Perubahan sisi segitiga,
 (b) Struktur diagram pohon bertambah dengan *leaf* baru
 Sumber (Sedyono, 2005)

Untuk mendapatkan hasil triangulasi yang optimal, perlu dilakukan uji legalitas, yaitu mendapatkan sisi pembentuk segitiga yang legal. Maksud dari segitiga legal adalah seperti dijelaskan berikut ini. Misalnya titik x_i , x_j , x_k , dan x_l membentuk segiempat yang akan dilakukan triangulasi (lihat Gambar 2.19). Sisi

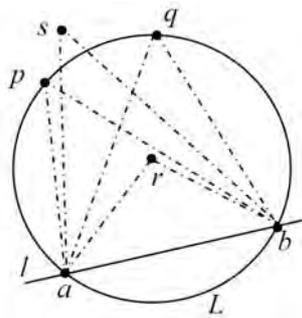
pembentuk segitiga yang mungkin adalah $x_i x_j$ atau $x_k x_l$. Sisi pembentuk segitiga yang legal adalah sisi yang menghasilkan $\max(\min_{1 \leq i \leq 6} \alpha_i, \min_{1 \leq i \leq 6} \alpha'_i)$



Gambar 2.19 Dua Kemungkinan Triangulasi
Sumber (Sedyono, 2005)

Dari Gambar 2.19 terlihat bahwa sudut terkecil dari Gambar 2.19(a) adalah α_1 atau α_4 lebih kecil daripada sudut terkecil dari Gambar 2.19(b) yaitu α_4' . Jadi sisi pembentuk segitiga yang legal adalah $x_k x_l$ pada Gambar 2.19(b). Untuk menghindari pembuktian dengan perhitungan sudut maka digunakan Teorema Thale.

Teorema 1 : Teorema Thale

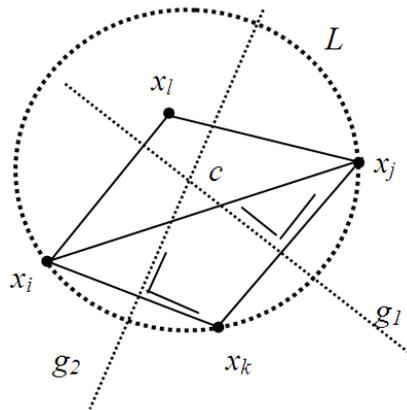


Misalkan L adalah lingkaran, l adalah garis yang memotong L pada a dan b , dan p, q, r , dan s adalah titik-titik yang terletak pada sisi yang sama dari l , dalam hal ini semua titik berada di sebelah atas l . Misalkan p dan q berada pada L , r di dalam L , dan s diluar L , maka:

$$\text{sudut } arb > \text{sudut } apb = \text{sudut } aqb > \text{sudut } asb$$

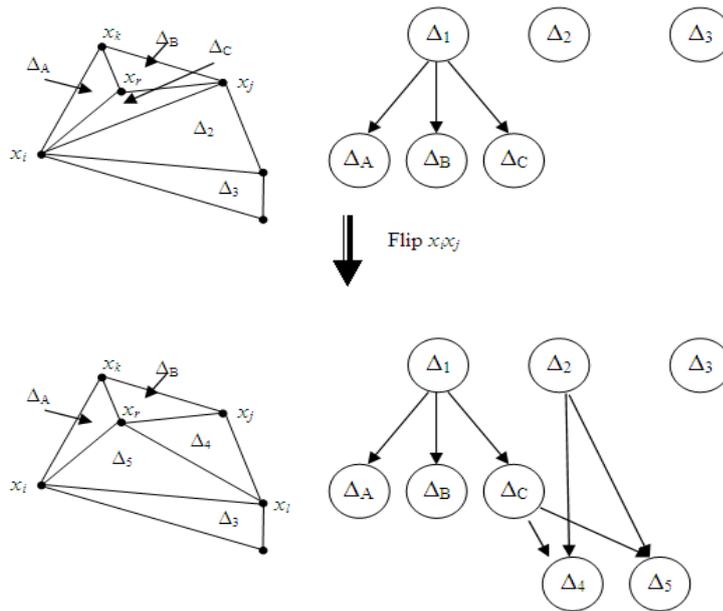
Berdasarkan pada Teorema Thale, maka jika x_i, x_j, x_k, x_l adalah titik-titik yang membentuk segiempat dan ada salah satu titik yang terletak di dalam lingkaran, sementara tiga titik lainnya berada pada lingkaran yang sama, maka pasti ada salah satu sisi pembentuk segitiga $x_i x_j$ atau $x_k x_l$ yang ilegal. Definisi

tersebut dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 2.20. Jika yang diuji legalitasnya adalah segitiga $x_i x_j x_k$, maka lingkaran dapat dibentuk dari pusat lingkaran yang berasal dari pertemuan garis-garis tegak lurus terhadap $x_i x_k$ dan $x_k x_j$ atau garis-garis tegak lurus terhadap $x_i x_l$ dan $x_l x_j$ yang menghasilkan titik potong di c yang akan menjadi pusat lingkaran. Pada Gambar 2.20 lingkaran L dibentuk dengan pusat lingkaran c , yang berasal dari perpotongan garis g_1 dan g_2 . Sedangkan g_1 memotong $x_k x_j$ pada median dan tegak lurus (*perpendicular bisector*). Demikian juga g_2 memotong $x_i x_k$ pada median dan tegak lurus. Karena di dalam lingkaran L terdapat titik lain, yaitu dalam hal ini x_l , maka $x_i x_j$ adalah ilegal. Oleh karena itu garis pembentuk segitiga segera ditukar (*flip*) dengan $x_k x_l$.



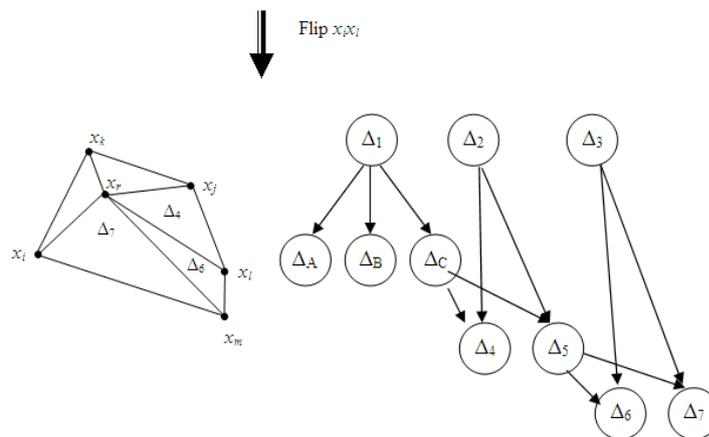
Gambar 2.20 Sisi pembentuk segitiga legal atau ilegal berdasarkan pada kriteria sudut optimal (Teorema Thale)
Sumber (Sedyono, 2005)

Melanjutkan pembahasan dari Gambar 2.18, perlu dilakukan uji legalitas segitiga yang mengandung titik x_r (titik terpilih), yaitu segitiga-segitiga Δ_A , Δ_B , dan Δ_C . Tetapi karena Δ_A , dan Δ_B , yang masing-masing memiliki sisi $x_i x_k$ dan $x_k x_j$ yang menjadi tepi poligon maka tidak perlu dilakukan uji legalitas. Sehingga yang perlu diuji legalitasnya adalah Δ_C saja. Dari hasil uji legalitas ternyata Δ_C tidak legal dan sisi $x_i x_j$ ditukar (*flip*) menjadi $x_r x_l$ dan menghasilkan dua segitiga Δ_4 dan Δ_5 (lihat Gambar 2.21).



Gambar 2.21 Proses *Delaunay triangulation* dengan *flip* $x_i x_j$ menjadi $x_r x_l$
 Sumber (Sedyono, 2005)

Selanjutnya, dari proses tersebut terbentuk segitiga baru yang mengandung titik x_r yaitu Δ_4 dan Δ_5 . Δ_4 tidak perlu diuji karena salah satu sisinya yaitu $x_j x_l$ adalah tepi poligon. Setelah dilakukan proses uji legalitas terhadap Δ_5 , ternyata Δ_5 tidak legal dan garis $x_i x_l$ harus ditukar menjadi $x_r x_m$ (lihat Gambar 2.22). Segitiga Δ_3 dan Δ_5 pada Gambar 2.21 terhapus dan diganti menjadi Δ_6 dan Δ_7 pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Hasil akhir proses triangulasi *Delaunay*
 Sumber (Sedyono, 2005)

2.7 Pelacakan Wajah Dengan *HAAR Classifier*

Pelacakan wajah adalah proses pendeteksian dan pencarian fitur wajah pada citra yang selanjutnya ditandai menjadi citra terlacak sebagai *output* atau dengan kata lain sistem akan mengenali pola sebagai wajah atau bukan. Pelacakan wajah dengan teknologi *computer vision* telah banyak dilakukan, salah satunya dengan menggunakan *Haar-like feature* yang dikenal sebagai *Haar Cascade Classifier*. *Haar-like features* merupakan *rectangular* (persegi) *features* yang memberikan indikasi secara spesifik pada sebuah gambar atau *image*. Ide dari *Haar-like features* adalah untuk mengenali obyek berdasarkan nilai sederhana dari fitur tetapi bukan merupakan nilai piksel dari *image* obyek tersebut. Metode ini memiliki kelebihan yaitu komputasinya sangat cepat, karena hanya bergantung pada jumlah piksel dalam persegi bukan setiap nilai piksel dari sebuah *image*. Metode ini merupakan metode yang menggunakan *statistical model* (Viola dan Jones, 2001).

Pendekatan untuk mendeteksi objek dalam gambar menggabungkan empat konsep utama :

1. *Training data*.
2. Fitur segi empat sederhana yang disebut fitur *Haar*.
3. *Integral image* untuk pendeteksian fitur secara cepat.
4. Pengklasifikasi bertingkat (*Cascade classifier*) untuk menghubungkan banyak fitur secara efisien.

Training Data

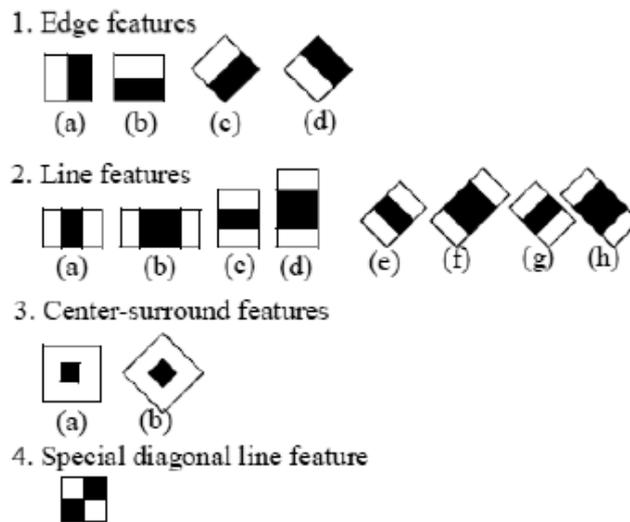
Metode ini memerlukan 2 tipe gambar objek dalam proses *training* yang dilakukan, yaitu :

1. *Positive samples*, berisi gambar obyek yang ingin di deteksi, apabila ingin mendeteksi mata maka *positive samples* ini berisi gambar wajah, begitu juga obyek lain yang ingin dikenali.
2. *Negative samples*, berisi gambar obyek selain obyek yang ingin dikenali, umumnya berupa gambar *background* (tembok, pemandangan, lantai, dan gambar lainnya). Resolusi untuk sampel negatif disarankan untuk memiliki resolusi yang sama dengan resolusi kamera.

Training dari *Haar* menggunakan dua tipe sampel di atas. Informasi dari hasil *training* ini lalu dikonversi menjadi sebuah parameter model statistik.

Haar Feature

Haar Feature adalah fitur yang didasarkan pada *Wavelet Haar*. *Wavelet Haar* merupakan gelombang tunggal bujur sangkar (satu interval tinggi dan satu interval rendah). Untuk dimensi dua, satu terang dan satu gelap. Selanjutnya digunakan kombinasi kotak yang digunakan untuk pendeteksian objek visual yang lebih baik. Setiap *Haar-like feature* terdiri dari gabungan kotak-kotak hitam dan putih.



Gambar 2.23 Macam-macam variasi fitur pada *Haar*
 Sumber (Lienhart, Kuranove, Pisarevsky, 2002)

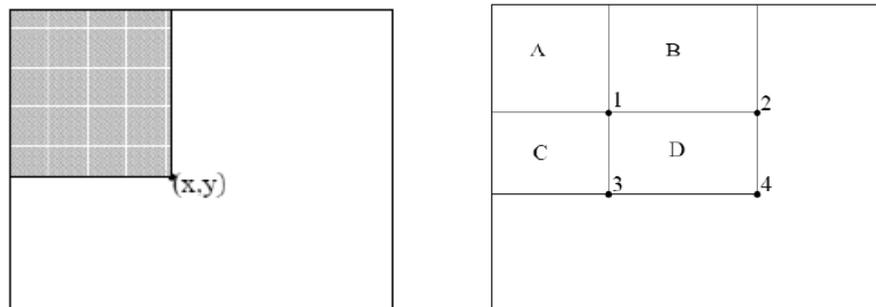
Adanya fitur *Haar* ditentukan dengan cara mengurangi rata-rata piksel pada daerah gelap dari rata-rata piksel pada daerah terang. Jika nilai perbedaannya itu di atas nilai ambang atau *threshold*, maka dapat dikatakan bahwa fitur tersebut ada. Nilai dari *Haar-like feature* adalah perbedaan antara jumlah nilai-nilai piksel *gray level* dalam daerah kotak hitam dan daerah kotak putih :

$$f(x) = \text{SumBlack rectangle} - \text{SumWhite rectangle} \quad \dots (3.1)$$

Di mana untuk kotak pada *Haar-like feature* dapat dihitung secara cepat menggunakan “*integral image*”.

Integral Image

Integral image merupakan tahap ketiga yang dilakukan dalam metode Viola dan Jones. *Integral image* digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya dari ratusan fitur *Haar* pada sebuah gambar dan pada skala yang berbeda secara efisien. Pada umumnya, pengintegrasian tersebut berarti menambahkan unit-unit kecil secara bersamaan. Dalam hal ini unit-unit kecil tersebut adalah nilai-nilai piksel. Nilai *integral* untuk masing-masing piksel adalah jumlah dari semua piksel-piksel dari atas sampai bawah. Dimulai dari kiri atas sampai kanan bawah, keseluruhan gambar itu dapat dijumlahkan dengan beberapa operasi bilangan bulat per piksel.



Gambar 2.24 *Integral image*
Sumber (Viola & Jones, 2001)

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.24 di atas, setelah pengintegrasian, nilai pada lokasi piksel (x,y) berisi jumlah dari semua piksel di dalam daerah segiempat dari kiri atas sampai pada lokasi (x,y) atau daerah yang diarsir. Guna mendapatkan nilai rata-rata piksel pada area segiempat (daerah yang diarsir) ini dapat dilakukan hanya dengan membagi nilai (x,y) oleh area segiempat.

Perhitungannya dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad \dots (3.2)$$

Di mana $ii(x,y)$ adalah *integral image* dan $i(x,y)$ adalah *original image*.

Guna mengetahui nilai piksel untuk beberapa segiempat yang lain, seperti segiempat D pada Gambar 2.24, dapat dilakukan dengan cara menggabungkan

jumlah piksel pada area segiempat $A+B+C+D$, dikurangi jumlah dalam segiempat $A+B$ dan $A+C$, ditambah jumlah piksel di dalam A . Dengan $A+B+C+D$ adalah nilai dari *integral image* pada lokasi 4, $A+B$ adalah nilai pada lokasi 2, $A+C$ adalah nilai pada lokasi 3, dan A pada lokasi 1. Sehingga hasil dari D dapat dikomputasikan.

$$D = (A+B+C+D) - (A+B) - (A+C) + A \quad \dots (3.3)$$

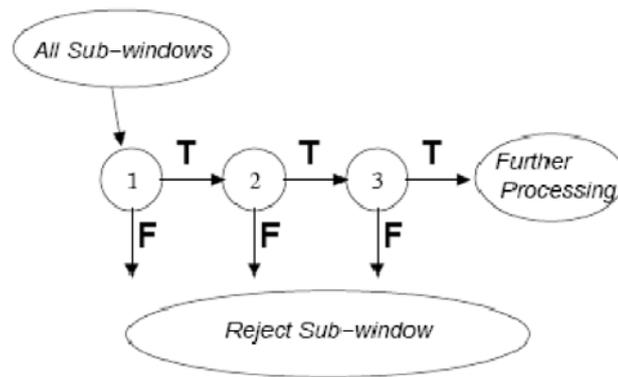
Cascade Classifier

Cascade classifier adalah sebuah rantai *stage classifier*, dimana setiap *stage classifier* digunakan untuk mendeteksi apakah di dalam *image sub window* terdapat obyek yang diinginkan (*object of interest*). *Stage classifier* dibangun dengan menggunakan algoritma *adaptive-boost (AdaBoost)*. Algoritma tersebut mengkombinasikan *performance* banyak *weak classifier* untuk menghasilkan *strong classifier*. *Weak classifier* dalam hal ini adalah nilai dari *haar-like feature*. Jenis *AdaBoost* yang digunakan adalah *Gentle AdaBoost*.

Kombinasi Cascade of Classifier

Kombinasi *Cascade of Classifier* merupakan tahap terakhir dalam metode Viola & Jones. Dengan mengkombinasikan pengklasifikasian dalam sebuah struktur *cascade* atau *Cascade of Classifier*, kecepatan dari proses pendeteksian dapat meningkat, yaitu dengan cara memusatkan perhatian pada daerah-daerah dalam *image* yang berpeluang saja. Hal ini dilakukan untuk menentukan di mana letak objek yang dicari pada suatu *image*.

Karakteristik dari algoritma Viola & Jones adalah adanya klasifikasi bertingkat. Klasifikasi pada algoritma ini terdiri dari tiga tingkatan di mana setiap tingkatan mengeluarkan sub *image* yang diyakini bukan objek. Hal ini dilakukan karena lebih mudah untuk menilai sub *image* tersebut bukan objek yang ingin dideteksi ketimbang menilai apakah sub *image* tersebut merupakan objek yang ingin dideteksi. Di bawah ini adalah alur kerja dari klasifikasi bertingkat.



Gambar 2.25 Model *classifier* secara *cascade*
 Sumber (Viola & Jones, 2001)

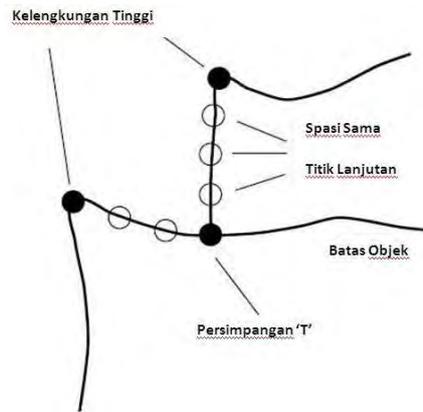
Menurut Viola & Jones (2011) dari analisa di atas dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat tiga faktor yang mempengaruhi kecepatan dan tingkat akurasi dalam pendeteksian, faktor-faktor tersebut antara lain :

1. Jumlah dari tahapan *classifier*
2. Jumlah fitur
3. Nilai *threshold*

2.8 Landmark yang Cocok

Pilihan yang bagus untuk *landmark* adalah titik yang secara konsisten terletak dari satu gambar yang lain. Metode yang paling sederhana untuk menghasilkan satu set pembelajaran untuk ahli manusia adalah dengan memberi keterangan masing-masing dari serangkaian gambar dengan satu sekelompok titik yang sesuai.

Dalam titik dimensi dua dapat ditempatkan pada sudut-sudut yang jelas batasan obyeknya, persimpangan 'T' antara batas-batas atau terletak pada *landmark* biologis. Namun, jarang terdapat titik yang cukup untuk memberikan lebih dari deskripsi target bentuk objek. Daftar ini akan ditambah dengan titik di sepanjang batas-batas yang diatur untuk spasi yang sama di antara titik-titik *landmark*. Definisi ini dapat dilihat pada Gambar 2.26 yakni *Landmark* yang cocok adalah pada titik persimpangan atau titik kelengkungan yang tinggi. Titik lanjutan dapat digunakan untuk menentukan batasan agar menjadi lebih tepat.



Gambar 2.26 *Landmark* yang cocok
 Sumber (T.F.Cootes & C.J.Taylor, Oktober 26, 2001)

Sebuah bentuk dijelaskan poin n pada dimensi d diwakili bentuk oleh sebuah vektor elemen nd yang dibentuk dengan penggabungan masing-masing vektor posisi tiap titik individu. Sebagai contoh dalam gambar dimensi dua, dapat merepresentasikan n titik penunjuk, $\{(x_i, y_i)\}$, untuk satu contoh sebagai vektor elemen $2n$, di mana, x , adalah:

$$x = (x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n)^T \quad \dots(2.11)$$

Mengingat contoh pelatihan s , disebabkan s dalam beberapa vektor x_j . Sebelum didapatkan analisis statistik pada vektor ini, penting bahwa bentuk yang diwakili berada pada bingkai koordinat yang sama. Kita ingin menghapus variasi yang dapat disebabkan oleh transformasi global yang diperbolehkan T .

2.9 Active Appearance Model

2.9.1 Two-Dimensional Shape Model

Bentuk terdiri dari jumlah tetap poin dimensi dua yang menggambarkan bentuk objek target. Bentuk yang berbeda dari objek dengan kategori yang sama diberikan label dari data pelatihan. Rotasi, translasi dan skala variasi bentuk-bentuk ini dikeluarkan sebelum *learning*. Analisis Procrustes kemudian dilakukan untuk menyelaraskan bentuk-bentuk ini. Analisis komponen utama (PCA) diterapkan dengan menggunakan bentuk selaras untuk membangun model bentuk. Setelah dilakukan pelatihan, bentuk rata-rata S_0 dan bentuk variasi dasar $\{S_1, S_2,$

..., S_m } dapat digunakan untuk merekonstruksi bentuk S apapun sebagai bentuk berikut:

$$s = s_0 + \sum_{i=1}^m S_i P_i \quad \dots(2.12)$$

dimana $p = \{p_i\}_{i=1}^m$ adalah satu set bilangan *real* yang disebut parameter bentuk.

2.9.2 Appearance Model

Appearance adalah tekstur atau intensitas objek. Mengingat bentuk model, semua gambar pelatihan diubah menjadi gambar bentuk yang bebas. Bentuk berarti berfungsi sebagai patokan perbandingan. Maka bentuk rata-rata juga disebut bentuk referensi. Semua tekstur pada gambar dipetakan ke dalam bentuk rata-rata. Untuk setiap gambar, *appearance* direpresentasikan sebagai vektor dalam urutan yang sama dan dalam dimensi yang sama. Transformasi ini memastikan bahwa semua gambar pelatihan dan uji coba adalah dari dimensi yang sama. Selain itu, tekstur dapat berubah karena pengaturan pencahayaan atau kamera, sehingga normalisasi tekstur diperlukan. Setelah prosedur ini, PCA dilakukan pada data pelatihan untuk menghitung model penampilan.

Appearance model terdiri dari *appearance* rata-rata, A_0 , dan variasi dasar *appearance* $\{A_i\}_{i=1}^n$. Untuk setiap set parameter *appearance* $\lambda = \{\lambda_i\}_{i=1}^n$ *appearance* yang sesuai didefinisikan sebagai:

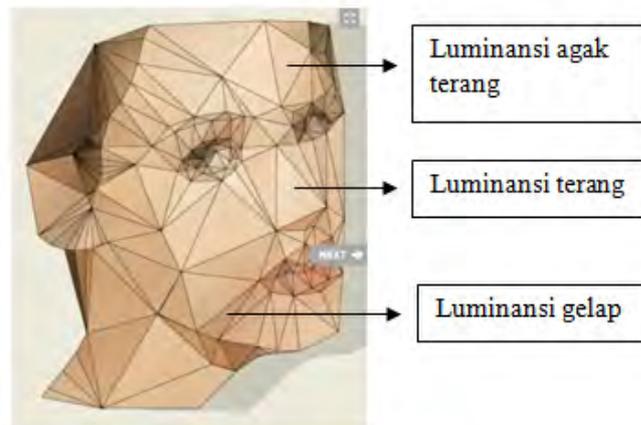
$$A = A_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i A_i \quad \dots(2.13)$$

Dengan *shape and appearance* model dimensi dua, proses penyelarasan adalah untuk menemukan parameter dari dua model dengan meminimalkan perbedaan antara gambar uji dan model wajah.

2.10 Luminansi Pada Citra Wajah Manusia

Luminansi (*luminance*) merupakan perbedaan tingkat kecerahan yang muncul akibat jatuhnya cahaya yang mengenai permukaan objek. Setiap permukaan objek memiliki luminansi yang berbeda-beda, sesuai dengan posisi

jatuhnya cahaya yang mengenai permukaan objek tersebut, akibatnya luminansi dapat menghasilkan gelap terang di setiap wilayah yang nampak pada permukaan objek. Terkait dengan pengolahan citra wajah manusia, luminansi dapat terlihat sebagai gelap terang warna yang nampak pada wilayah bagian citra wajah manusia. Keterkaitan antara citra wajah manusia dengan luminansi dapat dilihat pada Gambar 2.27 di bawah ini.



Gambar 2.27 Perbedaan gelap terang warna pada wilayah bagian permukaan citra wajah manusia

Pada Gambar 2.27, setiap wilayah bagian pada citra wajah manusia memiliki ketampakan warna dengan tingkat kecerahan yang berbeda-beda (luminansi) akibat jatuhnya cahaya yang mengenai permukaan objek wajah tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan luminansi sebagai pedoman dalam penentuan warna untuk setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* yang, di mana setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* akan memiliki warna yang berbeda-beda.

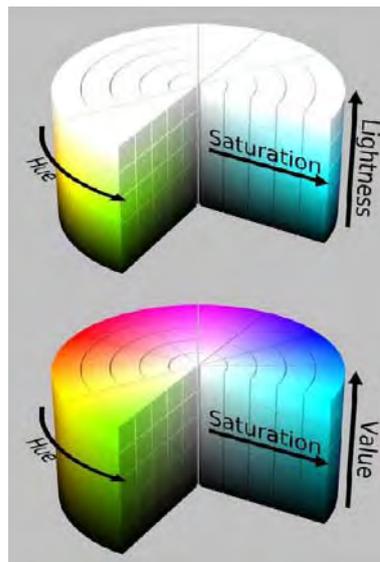
2.11 Warna *Hue*, *Saturation*, dan *Lightness* (HSL)

2.11.1 Model Warna *Hue*, *Saturation*, dan *Lightness* (HSL)

HSL (*Hue*, *Saturation*, *Lightness*) terkadang disebut juga sebagai HSL (*Hue*, *Saturation*, *Luminosity* / *Luminance*), sedangkan HSV (*Hue*, *Saturation*, *Value*) terkadang disebut juga sebagai HSB (*Hue*, *Saturation*, *Brighthness*). Selain HSL dan HSV, model ketiga yang umum dalam aplikasi visi komputer adalah HSI (*Hue*, *Saturation*, *Intensity*).

Persamaan dari HSL dan HSV yakni merupakan dua sistem koordinat-silinder yang paling umum merepresentasikan poin dalam warna *Red*, *Green*, dan *Blue* (RGB), yang mengatur ulang geometri RGB dalam upaya untuk perseptual yang lebih relevan dari pada representasi koordinat kartesian. Sedangkan perbedaan antara HSL dan HSV terletak pada *lightness* dan *value*, dimana *lightness* akan semakin memperterang setiap *hue* (warna) hingga ke tingkat warna paling terang (putih), sedangkan *value* hanya sampai mempercerah tiap *hue* (warna) saja dari posisi awal paling bawahnya berwarna gelap (hitam).

Di bawah ini merupakan gambar dari contoh analisa kedua metode pemetaan model warna RGB menggunakan kedua sistem warna koordinat silinder (HSL dan HSV).

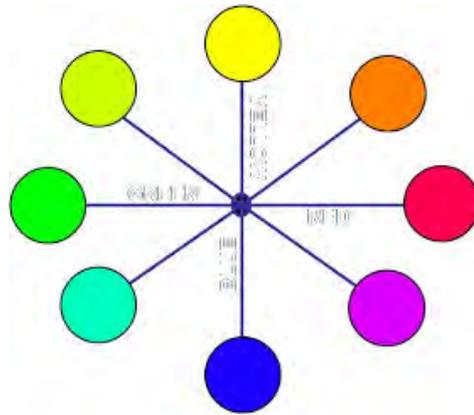


Gambar 2.28 Perbedaan model warna HSL dan HSV
Sumber (Model warna HSL dan HSV)

2.11.2 Poin-poin *Hue*, *Saturation*, dan *Lightness* (HSL)

Hue:

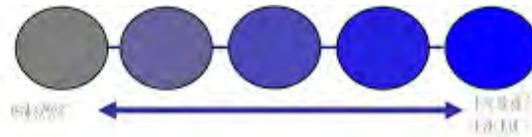
1. *Hue* merupakan representasi pemilihan warna pada *color wheel*.
2. *Hue* merupakan karakteristik warna berdasarkan panjang gelombang cahaya yang dipantulkan atau dibiaskan oleh suatu obyek.
3. Nilai *hue* didefinisikan dalam lingkaran warna dengan nilai 0 hingga 360.



Gambar 2.29 Warna-warna *hue*

Saturation:

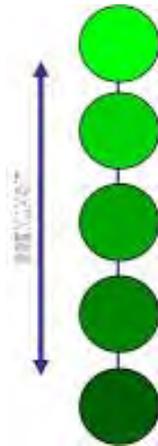
1. *Saturation* merupakan derajat intensitas suatu warna dengan nilai antara -80 hingga 120 yang berfungsi untuk mendefinisikan kemurnian suatu warna, baik cenderung kotor (*grayish*) maupun cenderung dominan (murni).
2. Warna yang kurang saturasinya akan terlihat keabu-abuan.
3. *Saturation* menentukan kadar (persentase) kejenuhan/kepekatan warna pada warna tertentu.



Gambar 2.30 Warna biru dengan pengaturan *saturation*

Lightness:

1. *Lightness* disebut juga dengan *luminance* / *luminosity*.
2. *Lightness* adalah nilai gelap terangnya suatu warna yang berfungsi untuk mengoreksi warna seberapa terang atau gelap warna tersebut dengan nilai berkisar antara 0 hingga 100.
3. *Lightness* menentukan luminositas (tingkat keterangan warna). Jika melakukan perubahan pada poin ini maka poin *red*, *green*, *blue* pada RGB akan ikut berubah.



Gambar 2.31 Warna hijau dengan pengaturan *lightness*

Didasarkan kepada persepsi manusia terhadap warna, model HSL menggambarkan tiga karakteristik fundamental warna, yakni:

- *Hue* adalah warna yang direfleksikan atau pun ditransmisikan sebuah objek. Nilainya diukur dari lokasi pada roda standar warna, yang diekspresikan dengan nilai derajat sudut diantara 0° dan 360° . Dalam penggunaannya, *hue* mengidentifikasi nama dari sebuah warna seperti merah, orange (jingga), atau hijau.
- *Saturation* sering dikenal dengan *chroma*, yaitu ukuran kekuatan atau kemurnian sebuah warna. *Saturation* merepresentasikan ukuran (kuantitas) dari proporsi keabuan pada *hue*, ukurannya dalam bentuk persentase dari 0% (*gray*) sampai dengan 100% (*fully saturated*). Pada roda standar warna, nilai *saturation* dari pusat roda (lingkaran) menuju tepian roda akan semakin bertambah.
- *Lightness* adalah ukuran relatif skala pencahayaan (*lightness*) atau kegelapan (*darkness*) dari sebuah warna, umumnya diukur sebagai nilai persentase dari 0% (*black*) sampai dengan 100% (*white*)

2.12 Kontur Kedalaman Wilayah Pada Permukaan Wajah Manusia

Wajah atau muka merupakan bagian paling depan dari kepala. Pada manusia, wajah atau muka meliputi wilayah dahi sebagai lengkungan wajah bagian atas, dagu sebagai lengkungan wajah bagian bawah, alis mata, mata,

hidung, pipi, dan mulut. Wajah manusia digunakan sebagai pembeda identitas setiap wajah, ekspresi wajah, serta penampilan wajah. Setiap wilayah pada wajah manusia memiliki struktur anatomi tulang yang menghasilkan kontur kedalaman wajah manusia dengan perbandingan sebagai berikut:

1. Wilayah mata mempunyai kontur kedalaman yang paling dalam pada permukaan wajah manusia.
2. Wilayah hidung mempunyai kontur kedalaman yang paling menonjol pada permukaan wajah manusia.
3. Wilayah alis mata mempunyai kontur kedalaman yang lebih menonjol dari kontur kedalaman mata.
4. Wilayah mulut mempunyai kontur kedalaman yang lebih menonjol dari kontur kedalaman alis mata.
5. Wilayah pipi mempunyai kontur kedalaman yang sama dengan kontur kedalaman mata.
6. Wilayah dahi atau lengkungan wajah bagian atas mempunyai kontur kedalaman yang sama dengan kontur kedalaman alis mata.
7. Wilayah dagu atau lengkungan wajah bagian bawah mempunyai kontur kedalaman yang sama dengan kontur kedalaman alis mata.

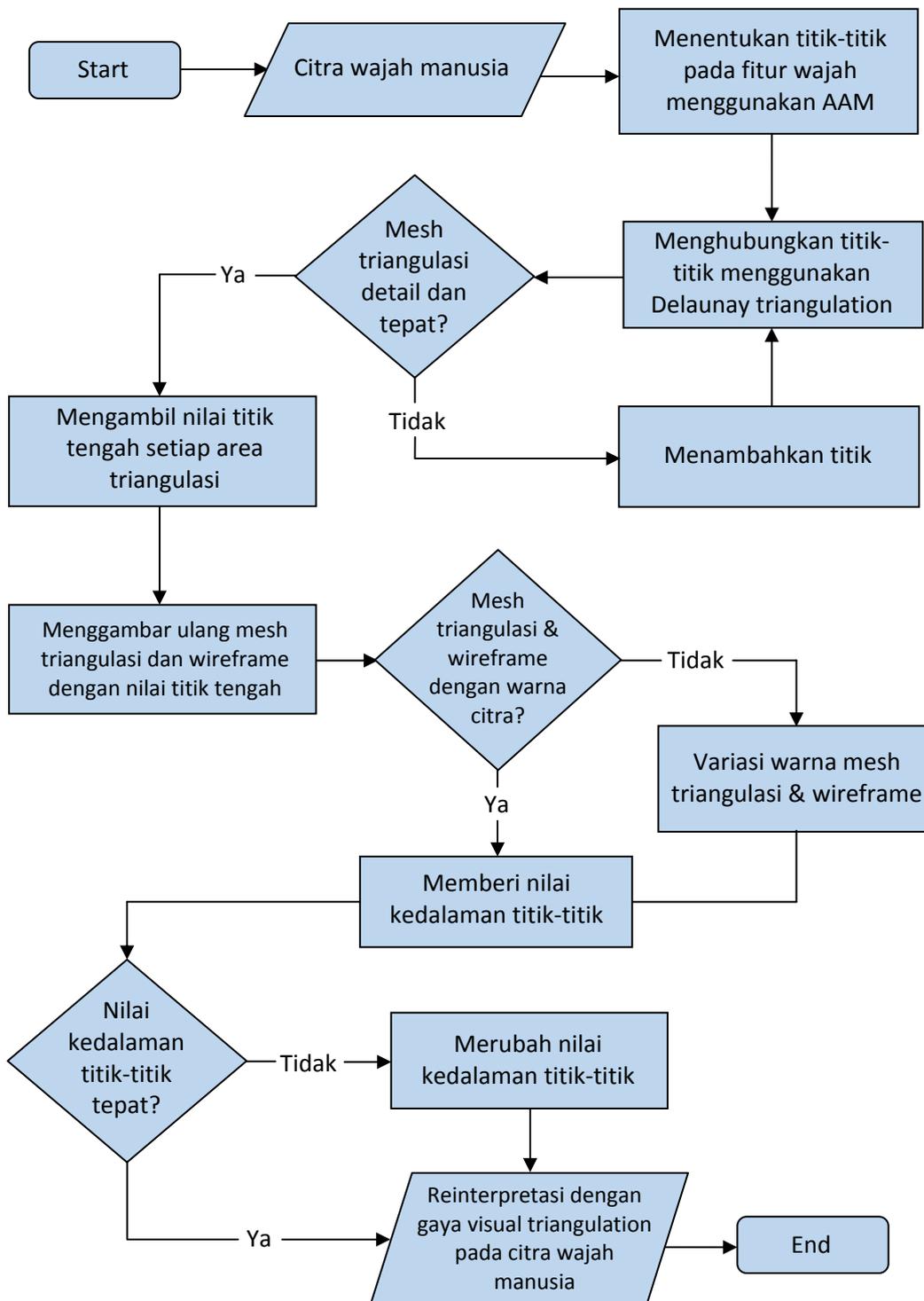
BAB 3

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimental untuk mendapatkan hasil reinterpretasi citra wajah manusia dengan menggunakan gaya visual *triangulation* yang tetap dapat dikenali dan diidentifikasi. Secara garis besar, masukan dalam penelitian ini adalah citra wajah manusia dengan sekumpulan titik-titik (*vertex*), sedangkan keluaran dari penelitian ini adalah hasil reinterpretasi citra wajah manusia dengan gaya visual *triangulation*. Dalam penelitian ini akan dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Citra wajah manusia sebagai *input* dalam penelitian ini.
- b. Menentukan titik-titik (*vertex*) pada fitur-fitur wajah menggunakan metode *Active Appearance Model* (AAM) dan menambahkan titik secara manual untuk menghasilkan *mesh* triangulasi yang lebih detail dan tepat.
- c. Menghubungkan titik-titik (*vertex*) menggunakan metode *Delaunay triangulation*.
- d. Mendapatkan nilai titik tengah setiap daerah triangulasi sebagai warna citra yang digunakan untuk menggambar ulang *mesh* triangulasi dengan *wireframe*. Warna *mesh* triangulasi dapat divariasikan dengan merubah nilai *hue* atau *saturation*, sedangkan warna *wireframe* triangulasi dapat divariasikan dengan merubah nilai warna *wireframe*.
- e. Memberikan nilai kedalaman pada titik-titik (*vertex*) sesuai dengan kontur wajah manusia.
- f. Reinterpretasi dengan gaya visual *triangulation* pada citra wajah manusia.

Alur proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur proses penelitian

3.1 Citra Wajah Manusia

Input pada penelitian ini adalah citra wajah manusia dengan tipe file adalah .jpg. Secara teknis, citra wajah manusia yang dapat digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Posisi wajah pada citra adalah menghadap ke depan dan jika menoleh dengan sudut pandang tolehan tidak lebih dari 45° .
2. Tidak terdapat elemen yang menutupi daerah wajah terutama pada fitur-fitur wajah.
3. Wajah dapat terlihat dengan jelas pada citra.
4. Wajah mendominasi keseluruhan bidang pada citra.

Gambar 3.2 berikut merupakan salah satu citra wajah manusia dengan kesesuaian secara teknis yang dapat digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Citra wajah manusia

3.2 Menentukan Titik-titik (*Vertex*) Pada Fitur Wajah

Sebuah citra akan menghasilkan sekumpulan data titik-titik (*vertex*) dengan jumlah banyak yang menunjukkan posisi (x,y) pada bidang dimensi dua. Algoritma *Delaunay Triangulation* menghubungkan setiap tiga titik dari titik-titik tersebut dan membentuk *mesh* triangulasi *Delaunay*. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk merupakan *mesh* triangulasi terstruktur karena memiliki

topologi yang sama pada bentuk *grid* dan triangulasi, sedangkan *mesh* triangulasi yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah *mesh* triangulasi tidak terstruktur, sehingga pada tahap ini membutuhkan proses normalisasi.

Proses normalisasi dilakukan dengan melacak fitur-fitur wajah pada citra wajah dengan menggunakan metode *Active Appearance Model* (AAM). Setelah fitur-fitur wajah terlacak, selanjutnya AAM memberikan *landmark* sebagai tanda lokasi fitur-fitur wajah tersebut, kemudian meletakkan titik-titik sesuai dengan fitur-fitur wajah yang telah diberikan *landmark*. Hasil yang diperoleh pada tahap ini adalah normalisasi jumlah titik-titik (*vertex*) dan terbentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* yang tidak terstruktur. Sub bab 3.2.1 merupakan penjelasan lebih detail terkait dengan pelacakan fitur-fitur wajah menggunakan metode AAM beserta pemberian *landmark* pada fitur-fitur wajah yang telah terlacak.

3.2.1 Fitur-fitur Wajah

Pada penelitian ini, fitur-fitur wajah yang terlacak oleh AAM meliputi fitur alis mata kanan, alis mata kiri, mata kanan, mata kiri, hidung, mulut, dan lengkungan wajah. Setiap fitur wajah yang telah terlacak diberikan *landmark* atau label sebagai penanda.

3.2.1.1 Fitur Alis Mata

Gambar 3.3 di bawah memperlihatkan fitur alis mata yang meliputi fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri yang terletak di atas mata.



Gambar 3.3 Fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri

Jumlah *landmark* yang diberikan pada setiap fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri masing-masing sebanyak lima titik untuk mencirikan secara geometris fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri. Gambar 3.4 merupakan pemberian *landmark* beserta penomoran pada setiap *landmark*, yakni nomor 17,

18, 19, 20, 21 sebagai titik-titik penanda pada fitur alis mata kiri dan nomor 22, 23, 24, 25, 26 sebagai titik-titik penanda pada fitur alis mata kanan.



Gambar 3.4 *Landmark* dan penomoran *landmark* pada fitur alis mata kanan dan fitur alis mata kiri

3.2.1.2 Fitur Mata

Fitur mata merupakan salah satu panca indera yang sangat khas dan berbeda untuk setiap manusia. Jika dilihat sekilas, bentuk mata manusia memang terlihat serupa, namun kenyataannya memiliki struktur geometris yang berbeda. Gambar 3.5 di bawah memperlihatkan fitur mata yang meliputi fitur mata kiri dan fitur mata kanan.



Gambar 3.5 Fitur mata kanan dan mata kiri

Untuk mewakili bentuk fitur mata, diberikan *landmark* sebanyak enam titik untuk masing-masing mata beserta penomorannya. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.6, yakni nomor 36, 37, 38, 39, 40, 41 sebagai titik-titik penanda pada fitur mata kiri dan nomor 42, 43, 44, 45, 46, 47 sebagai titik-titik penanda pada fitur mata kanan.



Gambar 3.6 *Landmark* dan penomoran pada fitur mata kanan dan kiri

3.2.1.3 Fitur Hidung

Batasan untuk area fitur hidung adalah pada bagian batang hidung (vertikal) dan bagian bawah hidung (horisontal). Fitur hidung dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Fitur hidung

Pada bagian fitur hidung diberikan sejumlah *landmark* dengan empat titik pada bagian batang hidung dan lima titik pada bagian bawah hidung. Penomoran pada fitur hidung seperti terlihat pada Gambar 3.8, yakni nomor 27, 28, 29, 30 sebagai titik-titik penanda pada bagian batang hidung, dan nomor 31, 32, 33, 34, 35 sebagai titik-titik penanda pada bagian bawah hidung.



Gambar 3.8 *Landmark* dan penomoran pada fitur hidung

3.2.1.4 Fitur Mulut

Mulut atau bibir setiap manusia mempunyai bentuk yang sangat unik, oleh karena itu mulut juga dapat digunakan sebagai fitur yang membedakan wajah untuk setiap manusia. Fitur mulut dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Fitur mulut

Pada fitur mulut diberikan *landmark* dengan jumlah delapan belas titik, meliputi bibir atas, bibir bawah, dan bibir bagian dalam, dengan penomoran pada fitur mulut dapat dilihat pada Gambar 3.10. Nomor 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 sebagai titik-titik penanda pada bibir atas, nomor 55, 56, 57, 58, 59 sebagai titik-titik penanda pada bibir bawah, dan nomor 60, 61, 62, 63, 64, 65 sebagai titik-titik penanda pada bibir bagian dalam.



Gambar 3.10 *Landmark* dan penomoran pada fitur mulut

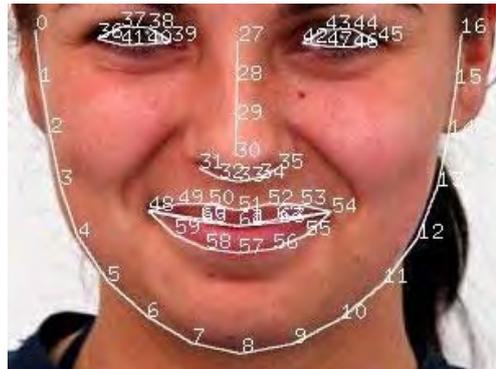
3.2.1.5 Fitur Lengkungan Wajah

Lengkungan wajah manusia menjadi ciri khas bentuk wajah manusia dan menjadi batas keseluruhan area wajah manusia. Lengkungan wajah bagian bawah meliputi sisi kiri wajah, dagu, dan sisi kanan wajah. Fitur lengkungan wajah bagian bawah dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Fitur lengkungan wajah

Pada bagian fitur lengkungan wajah bagian bawah diberikan *landmark* sebanyak tujuh belas titik, dimulai dari sisi kiri wajah, dagu, dan sisi kanan wajah. Penomoran pada fitur lengkungan wajah bagian bawah dapat dilihat pada Gambar 3.12, yakni nomor 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 sebagai titik-titik penanda pada lengkungan wajah bagian bawah.



Gambar 3.12 *Landmark* dan penomoran pada fitur lengkungan wajah

Setelah memberikan *landmark* pada setiap fitur wajah, maka hasil dari penggabungan setiap fitur wajah yang meliputi alis mata kanan, alis mata kiri, mata kanan, mata kiri, hidung, mulut, dan lengkungan wajah bagian bawah memiliki total jumlah *landmark* sebanyak 66 titik.

3.3 Menambahkan Titik-titik (*Vertex*) Pada Citra Wajah

Hasil tahapan pada sub bab 3.2 yakni terbentuknya *mesh* triangulasi *Delaunay* tidak terstruktur dengan terhubungnya titik-titik (*vertex*) fitur wajah hasil pelacakan menggunakan metode AAM. Pada penelitian ini dilakukan penambahan jumlah titik-titik selain titik-titik fitur wajah sebagai langkah untuk mendapatkan terbentuknya *mesh* triangulasi *Delaunay* yang lebih detail dan lebih tepat. Cara yang digunakan untuk menambahkan titik-titik fitur wajah adalah dengan menggeser posisi titik-titik tersebut sejauh nilai x dan/atau nilai y.

Penjabaran berikut merupakan penjelasan untuk menambahkan titik-titik selain titik-titik fitur wajah yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Penambahan titik-titik pada fitur alis mata kiri dan fitur alis mata kanan dengan menggeser titik nomor 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 sejauh

$y=10$. Gambar 3.13 di bawah merupakan hasil penambahan titik-titik yang menciptakan lengkungan baru pada fitur alis mata bagian bawah.



Gambar 3.13 Hasil penambahan titik-titik pada fitur alis mata bagian bawah

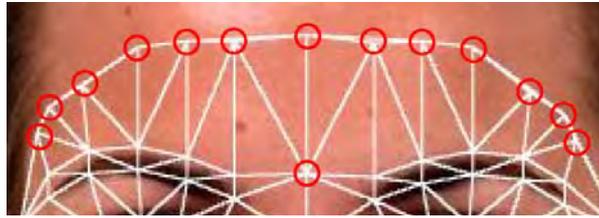
2. Penambahan titik-titik pada fitur hidung dengan menggeser titik nomor 31 sejauh $x=-5, y=-10$, dan titik nomor 35 sejauh $x=5, y=10$. Gambar 3.14 di bawah merupakan hasil penambahan titik-titik untuk menghasilkan *mesh* triangulasi *Delaunay* yang lebih detail dan tepat pada bagian bawah hidung (horisontal).



Gambar 3.14 Hasil penambahan titik-titik pada fitur hidung

3. Penambahan titik-titik pada area dahi dengan cara menggeser titik-titik fitur alis mata di bawah ini:
 - Titik nomor 17 sejauh $y=-29$
 - Titik nomor 19 dan titik nomor 24 sejauh $y=-43$
 - Titik nomor 17 sejauh $x = -5, y=-18$
 - Titik nomor 20 dan nomor 23 sejauh $y=-50$
 - Titik nomor 26 sejauh $y=-29$
 - Titik nomor 21 dan titik nomor 22 sejauh $y=-58$
 - Titik nomor 26 sejauh $x=5$ dan $y=-18$
 - Titik nomor 27 sejauh $y=-90$
 - Titik nomor 18 sejauh $x=-3$ dan $y=-28$
 - Titik nomor 27 sejauh $y=-30$
 - Titik nomor 25 sejauh $x=3$ dan $y=-28$

Gambar 3.15 di bawah merupakan hasil penambahan titik-titik yang menciptakan lengkungan wajah pada bagian atas atau pada area dahi.



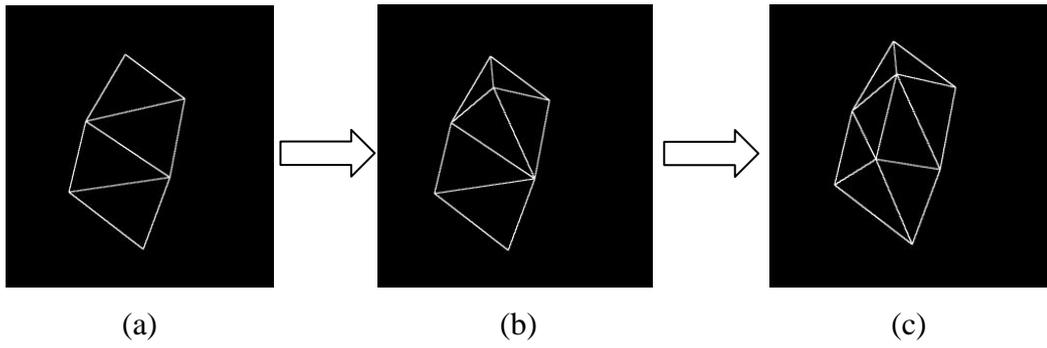
Gambar 3.15 Hasil penambahan titik-titik pada area dahi

3.4 Menghubungkan Titik-titik Menggunakan *Delaunay Triangulation*

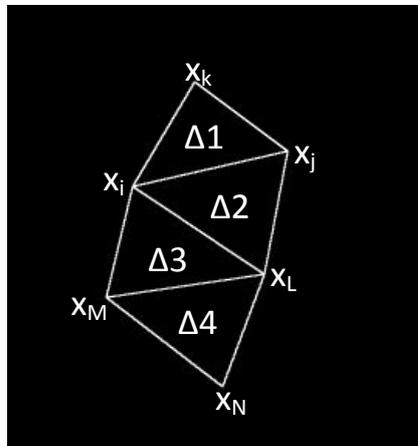
Titik-titik (*vertex*) yang telah didapatkan melalui tahapan pada sub bab 3.2 dan sub bab 3.3, selanjutnya dihubungkan dengan menggunakan algoritma *Delaunay triangulation*. Pencapaian pada tahapan ini adalah terbentuknya *mesh* triangulasi yang sesuai dengan kriteria triangulasi *Delaunay*.

Penelitian ini menggunakan algoritma *Delaunay triangulation* sekuensial yakni *Delaunay triangulation* dengan penyisipan bertambah. Algoritma ini menggunakan uji legalitas untuk mendapatkan sisi pembentuk segitiga yang legal sesuai dengan kriteria triangulasi *Delaunay* yang memaksimalkan sudut minimum. Uji legalitas segitiga dilakukan pada segitiga yang tidak memiliki salah satu sisi yang merupakan tepi poligon.

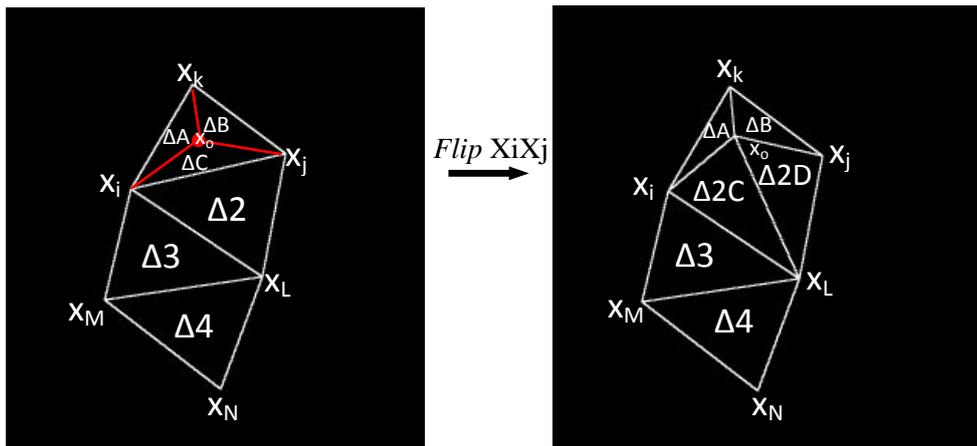
Pembuktian bagaimana algoritma *Delaunay triangulation* dapat berfungsi pada penelitian ini dilakukan dengan penambahan titik secara bertahap pada area pengujian. Gambar 3.16 merupakan triangulasi *Delaunay* yang diperoleh melalui hasil penambahan titik secara bertahap, dimulai dari pemberian 6 titik hingga 8 titik. Transformasi bentuk triangulasi terlihat pada setiap perubahan jumlah titik dengan mengikuti aturan kriteria triangulasi *Delaunay*, yang digambarkan pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17.



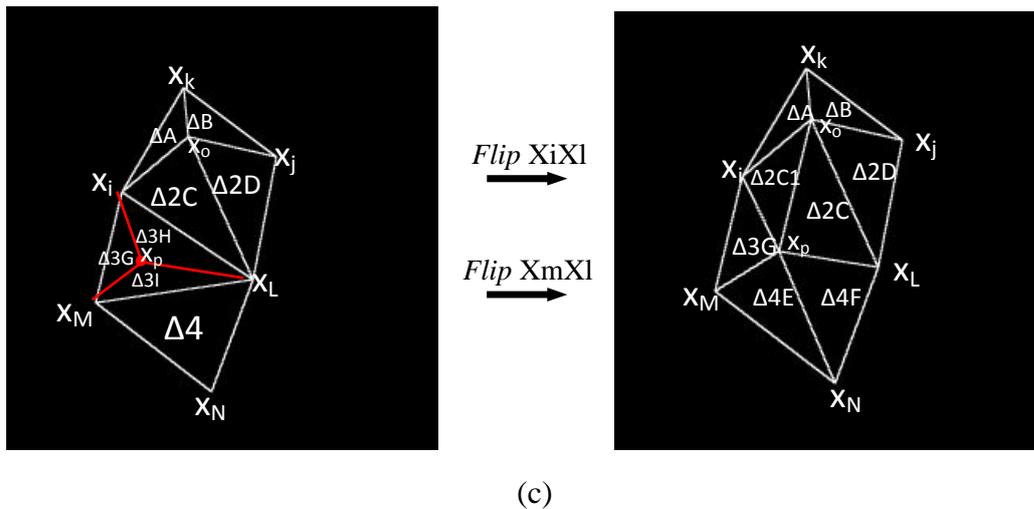
Gambar 3.16 Tranformasi bentuk triangulasi *Delaunay* dengan algoritma *Delaunay triangulation*,
 (a) 6 titik, (b) 7 titik, (c) 8 titik



(a)



(b)

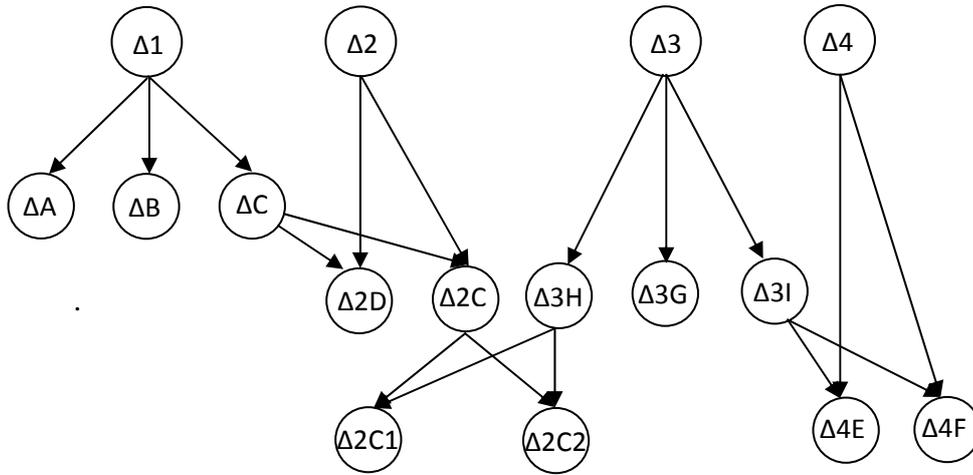


Gambar 3.17 Proses *Delaunay triangulation*,
 (a) Triangulasi dengan 6 titik, (b) Triangulasi hasil *flip* X_iX_j ,
 (c) Triangulasi hasil *flip* X_iX_l dan X_mX_l

Penjelasan Gambar 3.17 adalah sebagai berikut:

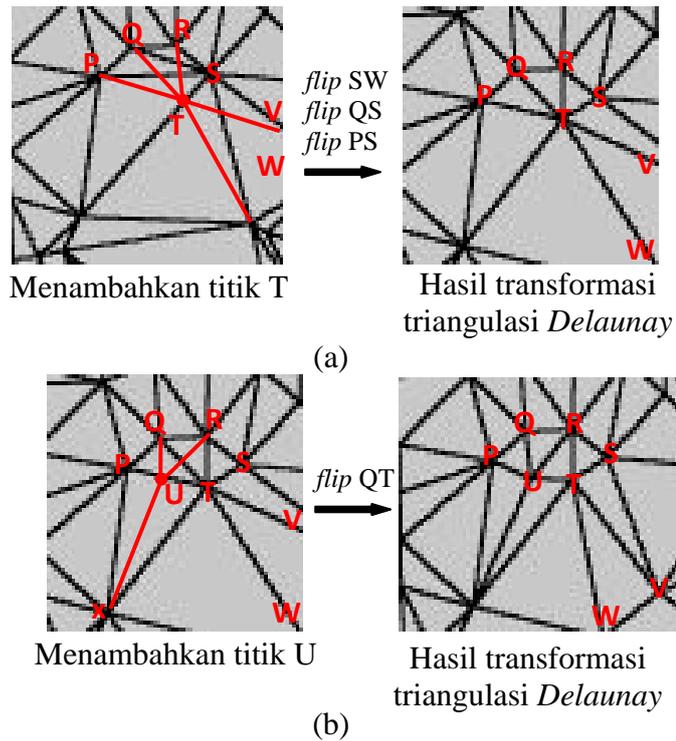
- (a) Empat segitiga yakni $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$, dan $\Delta 4$, terbentuk dari enam titik yang ditambahkan secara bertahap dan dihubungkan oleh garis.
- (b) Titik X_o ditambahkan pada area $\Delta 1$, hasil yang diperoleh adalah segitiga baru yang mengandung titik X_o yakni ΔA , ΔB , ΔC . Salah satu sisi ΔA dan ΔB yaitu X_iX_k dan X_kX_j merupakan tepi poligon, sehingga tidak perlu dilakukan uji legalitas, sedangkan ΔC tidak memiliki salah satu sisi yang merupakan tepi poligon, sehingga diperlukan uji legalitas. Dari hasil uji legalitas, didapatkan bahwa ΔC tidak legal sehingga garis X_iX_j ditukar (*flip*) dengan garis X_oX_l dan menghasilkan dua segitiga yakni $\Delta 2C$ dan $\Delta 2D$.
- (c) Titik X_p ditambahkan pada area $\Delta 3$, hasil yang diperoleh adalah $\Delta 3G$, $\Delta 3H$, dan $\Delta 3I$. Salah satu sisi $\Delta 3G$ yaitu X_iX_m merupakan tepi poligon, sehingga tidak perlu dilakukan uji legalitas, sedangkan $\Delta 3H$ dan $\Delta 3I$ tidak memiliki salah satu sisi yang merupakan tepi poligon, sehingga diperlukan uji legalitas. Dari hasil uji legalitas $\Delta 3H$ didapatkan bahwa $\Delta 3H$ tidak legal sehingga garis X_iX_l harus ditukar (*flip*) dengan garis X_pX_o . Kemudian dari hasil uji legalitas $\Delta 3I$ didapatkan bahwa $\Delta 3I$ tidak legal sehingga garis X_mX_l harus ditukar (*flip*) dengan garis X_pX_n .

Jika digambarkan menggunakan pohon faktor adalah sebagai berikut:



Gambar 3.18 Pohon faktor *Delaunay triangulation*

Pembuktian hasil implementasi algoritma *Delaunay triangulation* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.19.

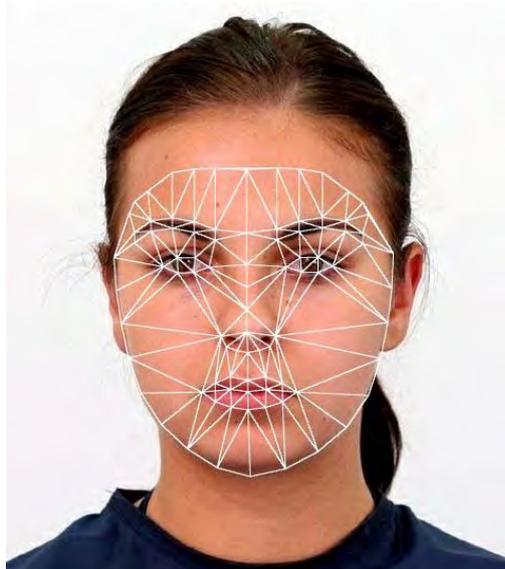


Gambar 3.19 (a) dan (b) Menambahkan titik T dan U serta hasil transformasi triangulasi *Delaunay*

Penjelasan Gambar 3.19 (a) dan Gambar 3.19 (b) adalah sebagai berikut:

- a. Sebuah titik T ditambahkan, hasil yang diperoleh adalah segitiga baru yang mengandung titik T yakni ΔPQT , ΔQRT , dan ΔTVW .
- b. Pada segiempat QRST, terdapat dua kemungkinan triangulasi, yaitu ΔQRT dan ΔRST , atau ΔQST dan ΔQRS . Sesuai dengan aturan kriteria triangulasi *Delaunay* dalam uji legalitas yang memaksimalkan sudut minimum, maka garis QS ditukar (*flip*) dengan garis RT, sehingga menghasilkan ΔQRT dan ΔRST yang legal.
- c. Pada segiempat PQST, terdapat dua kemungkinan triangulasi, yaitu ΔPQS dan ΔPST atau ΔPQT dan ΔQST . Sesuai dengan aturan kriteria triangulasi *Delaunay* dalam uji legalitas yakni memaksimalkan sudut minimum, maka garis PS ditukar (*flip*) dengan garis QT, sehingga menghasilkan ΔPQT dan ΔPST yang legal.
- d. Pada segiempat TSVW, terdapat dua kemungkinan triangulasi, yaitu ΔSTV dan ΔTVW atau ΔSTW dan ΔSVW . Sesuai dengan aturan kriteria triangulasi *Delaunay* dalam uji legalitas yakni memaksimalkan sudut minimum, maka garis SW ditukar (*flip*) dengan garis TV, sehingga menghasilkan ΔSTV dan ΔTVW yang legal.
- e. Kemudian sebuah titik U ditambahkan kembali, hasil yang diperoleh adalah segitiga baru yang mengandung titik U yakni ΔPUX , ΔPUQ , ΔQRU , ΔRTU , dan ΔTUX .
- f. Pada segiempat QRTU, terdapat dua kemungkinan triangulasi, yaitu ΔQTU dan ΔQRT , atau ΔQRU dan ΔRTU . Sesuai dengan aturan kriteria triangulasi *Delaunay* dalam uji legalitas yang memaksimalkan sudut minimum, maka garis QR ditukar (*flip*) dengan garis RU, sehingga menghasilkan ΔQRU dan ΔRTU yang legal.

Gambar 3.20 berikut merupakan pencapaian pada tahapan ini dengan terbentuknya *mesh* triangulasi yang sesuai dengan kriteria triangulasi *Delaunay* pada citra wajah manusia.



Gambar 3.20 *Mesh* triangulasi *Delaunay* pada citra wajah manusia

3.5 Memberikan Warna Pada *Mesh* Triangulasi *Delaunay*

Setelah *mesh* triangulasi *Delaunay* terbentuk, tahapan selanjutnya pada penelitian ini adalah memberikan warna untuk setiap *mesh* triangulasi *Delaunay*. Terdapat dua *style* warna yang dapat digunakan pada *mesh* triangulasi *Delaunay* yakni warna citra dan variasi warna citra. Setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* juga dapat menggunakan warna *wireframe* atau tanpa menggunakan warna *wireframe*. Terkait dengan pendekatan luminansi yang telah dijelaskan pada Bab 2, yakni perbedaan tingkat kecerahan yang muncul akibat jatuhnya cahaya yang mengenai permukaan objek, maka setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* memiliki gelap terang warna yang berbeda-beda.

3.5.1 Warna Citra

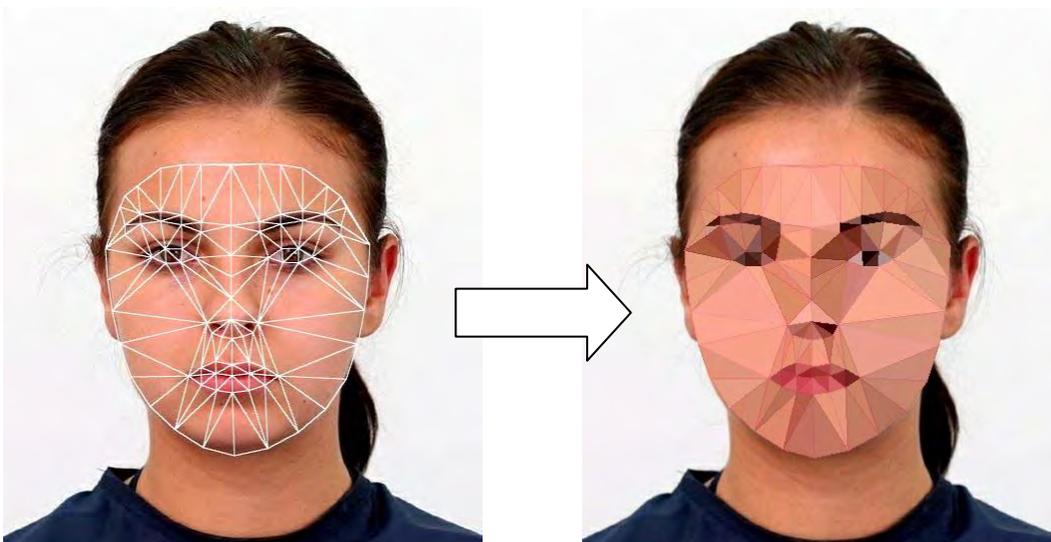
Warna citra merupakan warna *Red*, *Green*, *Blue* (RGB) yang digunakan oleh setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* dan diperoleh dengan cara mencari nilai titik tengah daerah citra wajah yang dibatasi oleh *mesh* triangulasi *Delaunay* tersebut. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$x_n = \frac{\frac{a_n x + b_n x}{2} + c_n}{2}, \quad y_n = \frac{\frac{a_n y + b_n y}{2} + c_n}{2} \quad \dots (3.1)$$

dimana:

- a, b, c : *Vertex* sebuah *mesh* triangulasi
- x, y : Koordinat dimensi dua pada citra
- n : Jumlah *mesh* triangulasi pada citra

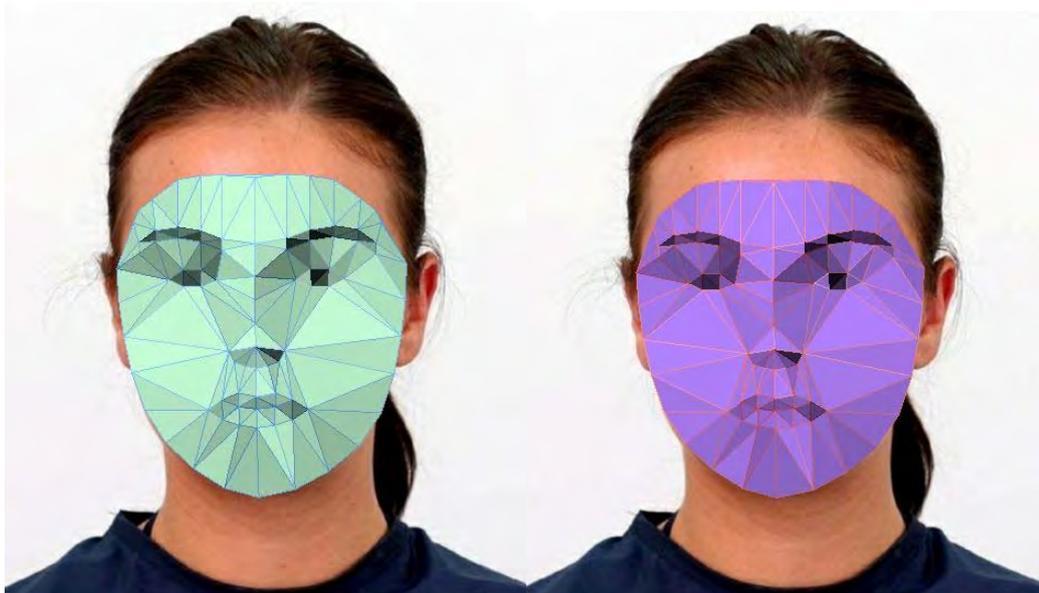
Setelah mendapatkan nilai titik tengah (x,y) untuk setiap *mesh* triangulasi *Delaunay* ke-n pada citra, tahapan berikutnya adalah menggambar ulang *mesh* triangulasi dengan menggunakan nilai titik tengah. *Mesh* triangulasi *Delaunay* baru yang telah terbentuk mempunyai warna isi (*fill*) yang *solid* sesuai dengan nilai titik tengah tersebut. Proses ini dapat dilakukan kembali untuk mendapatkan warna *wireframe mesh* triangulasi *Delaunay*. *Mesh* triangulasi *Delaunay* dan *wireframe* dengan menggunakan warna citra dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 *Mesh* triangulasi dan *wireframe* dengan menggunakan warna citra

3.5.2 Variasi Warna Citra

Variasi warna citra merupakan variasi warna dari warna citra yang digunakan pada warna *mesh* triangulasi *Delaunay* dan warna *wireframe*. Variasi warna citra dapat diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan/atau nilai *saturation* warna citra yang telah didapatkan. Nilai *hue* dan/atau nilai *saturation* dapat diatur berdasarkan parameter yang ditentukan dengan *range* 0 hingga 255. *Mesh* triangulasi *Delaunay* dan *wireframe* dengan menggunakan variasi warna citra dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 *Mesh* triangulasi dan *wireframe* dengan menggunakan variasi warna citra

3.6 Memberikan Nilai Kedalaman Pada Titik-titik (*Vertex*)

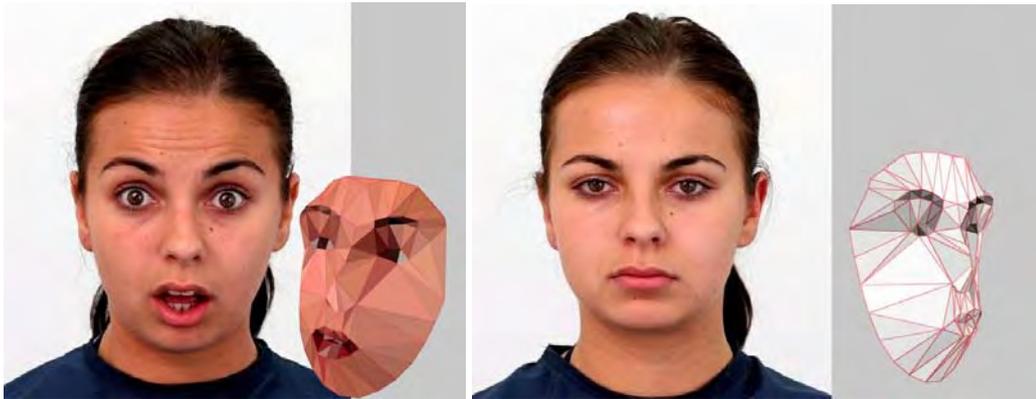
Pada tahapan ini dilakukan penambahan atau pengurangan nilai kedalaman (*z*) pada titik-titik (*vertex*) untuk menghasilkan *mesh* triangulasi *Delaunay* yang berdimensi tiga. Penambahan atau pengurangan nilai kedalaman berpedoman pada anatomi wajah manusia dimana terdapat perbandingan nilai kedalaman untuk setiap fitur wajah.

Nilai kedalaman (*z*) pada titik-titik (*vertex*) pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Titik-titik fitur lengkungan wajah:
 - a. Titik-titik lengkungan wajah bagian bawah nomor 0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, dan 16, dengan $z=50$
 - b. Titik-titik lengkungan wajah bagian atas atau area dahi:
 - Titik hasil pergeseran titik-titik nomor 21, 22, dan 27, dengan $z=-10$
 - Titik hasil pergeseran titik-titik nomor 17 dan 26 dengan $z=30$
 - Titik hasil pergeseran titik-titik nomor 18 dan 25 dengan $z=20$
 - Titik hasil pergeseran titik-titik nomor 19 dan 24 dengan $z=10$
 - Titik hasil pergeseran titik-titik nomor 20 dan 23 dengan $z=0$
2. Titik-titik fitur alis mata:
 - a. Titik-titik lengkungan alis mata bagian atas:
 - Titik ujung pada lengkungan alis mata bagian atas yakni titik-titik nomor 17 dan 26, dengan $z=0$
 - Titik bukan ujung pada lengkungan alis mata bagian atas yakni titik-titik nomor 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, dan 25, dengan $z=-10$
 - b. Titik-titik lengkungan alis mata bagian bawah:
 - Titik ujung pada lengkungan alis bagian bawah dengan $z=-2,5$
 - Titik bukan ujung pada lengkungan alis bagian bawah dengan $z=-7,5$
3. Titik-titik fitur hidung:
 - a. Titik-titik batang hidung (vertikal):
 - Titik nomor 27 dengan $z=-10$
 - Titik nomor 28 dengan $z=-15$
 - Titik nomor 29 dengan $z=-30$
 - Titik nomor 30 dengan $z=-55$
 - b. Titik-titik bawah hidung (horisontal) dengan $z=-5$
4. Titik-titik fitur mata dengan $z=5$
5. Titik-titik fitur mulut:
 - a. Titik-titik bibir luar:
 - Titik-titik nomor 48, 54, 55, dan 59, dengan $z=-3,5$

- Titik-titik nomor 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, dan 58, dengan $z=-6,5$
- b. Titik-titik bibir dalam dengan $z=-1$

Hasil penambahan atau pengurangan nilai kedalaman (z) titik-titik (*vertex*) untuk menghasilkan *mesh* triangulasi *Delaunay* yang berdimensi tiga pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 *Mesh* triangulasi berdimensi tiga

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

Pada bagian ini dibahas mengenai hasil pengujian sistem beserta analisis yang diperoleh dari hasil penelitian. Pengujian dilakukan dalam bentuk kuesioner *online* yang menyajikan hasil reinterpretasi citra wajah manusia yang meliputi dua kategori pengujian yakni pengenalan identitas wajah dan pengenalan ekspresi wajah. Jumlah responden untuk masing-masing kategori pengujian adalah sebanyak tiga puluh responden dengan latar belakang yang berbeda.

4.1 Pengujian Pengenalan Identitas Wajah

Sub Bab 4.1.1 hingga Sub Bab 4.1.10 merupakan sepuluh citra wajah artis dan *public figure* dengan reinterformasinya menggunakan gaya visual triangulasi versi warna citra dan variasi warna citra yang disajikan pada kuesioner pengujian. Responden mengisi kuesioner pengujian dengan menyebutkan nama setiap personal yang terdapat pada sepuluh reinterpretasi citra wajah tersebut.

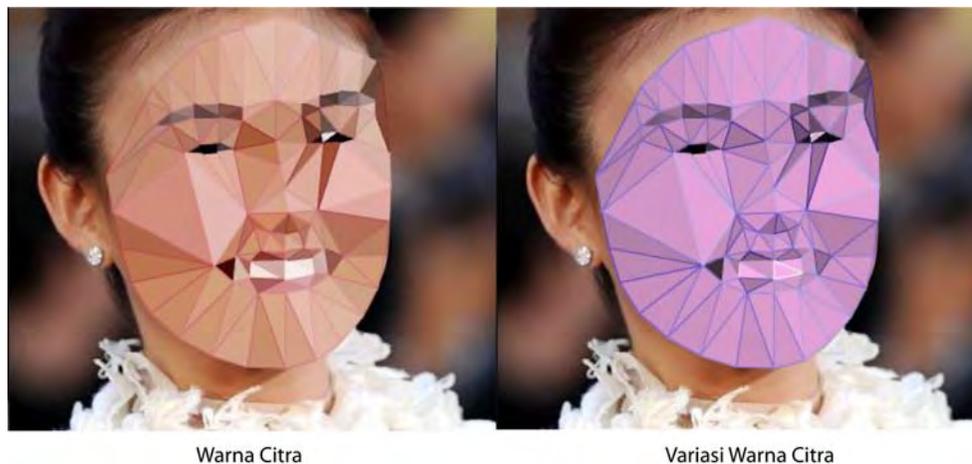
4.1.1 Reinterpretasi Citra Wajah Agnes Monica

Gambar 4.1 di bawah merupakan citra wajah artis Agnes Monica yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.1 Citra wajah Agnes Monica

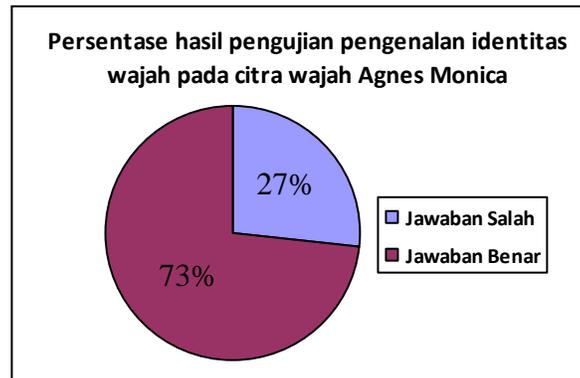
Selanjutnya pada Gambar 4.2 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Agnes Monica dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah pipi dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.2 Reinterpretasi citra wajah Agnes Monica

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Agnes Monica melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.3 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 73%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 27%.



Gambar 4.3 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Agnes Monica

4.1.2 Reinterpretasi Citra Wajah Dian Sastrowardoyo

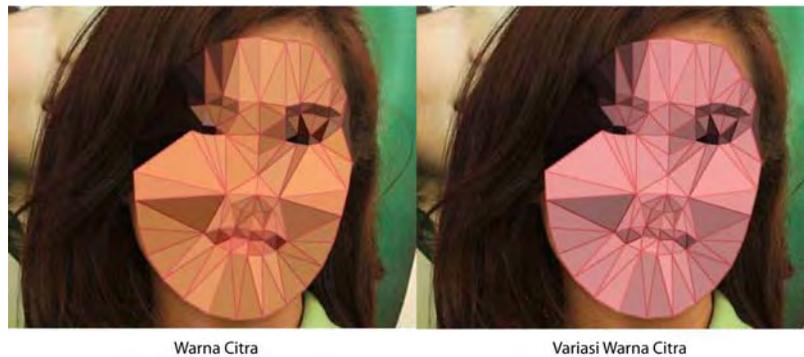
Gambar 4.4 di bawah merupakan citra wajah artis Dian Sastrowardoyo yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.4 Citra wajah Dian Sastrowardoyo

Selanjutnya pada Gambar 4.5 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Dian Sastrowardoyo dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil

reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah kelengkungan wajah bagian atas dan kelengkungan wajah bagian bawah. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.5 Reinterpretasi citra wajah Dian Sastrowardoyo

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Dian Sastrowardoyo melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.6 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 70%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 30%.



Gambar 4.6 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Dian Sastrowardoyo

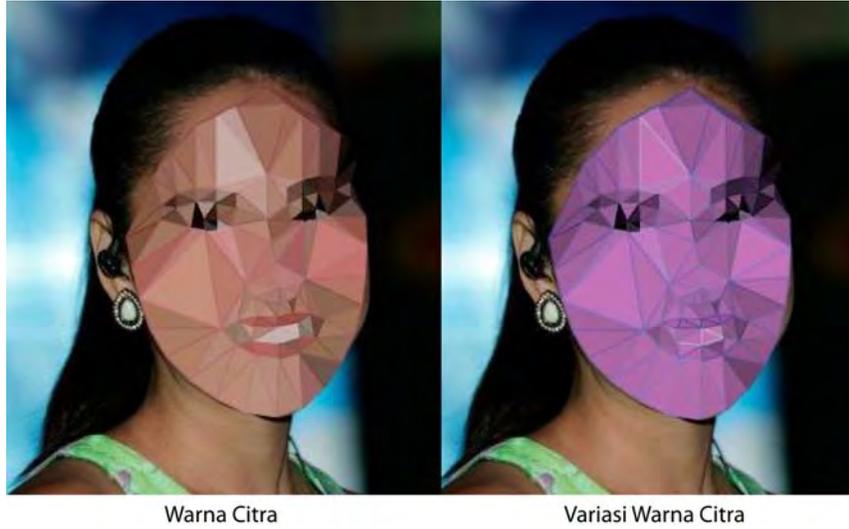
4.1.3 Reinterpretasi Citra Wajah Bunga Citra Lestari

Gambar 4.7 di bawah merupakan citra wajah artis Bunga Citra Lestari yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.7 Citra wajah Bunga Citra Lestari

Selanjutnya pada Gambar 4.8 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Bunga Citra Lestari dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah pipi, mulut, dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.8 Reinterpretasi citra wajah Bunga Citra Lestari

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Bunga Citra Lestari melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.9 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 0%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 100%.



Gambar 4.9 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Bunga Citra Lestari

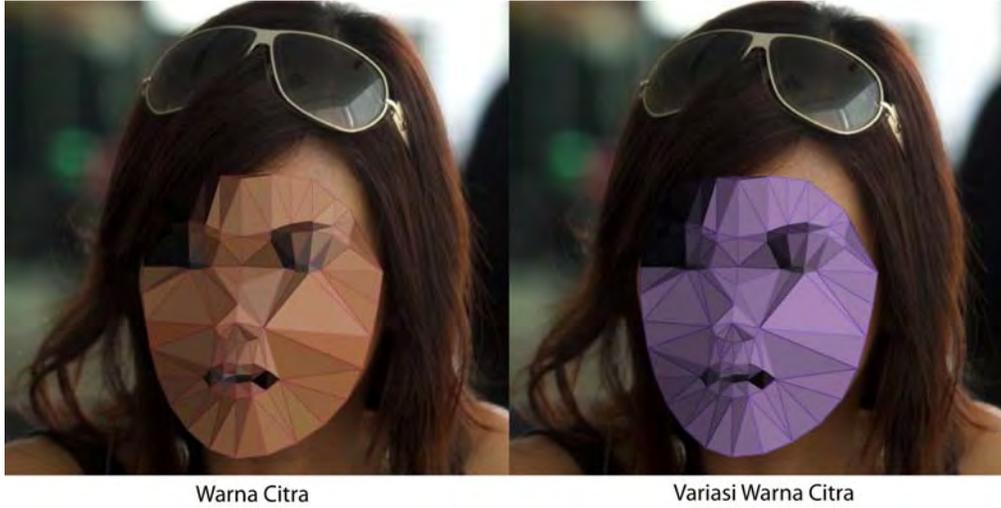
4.1.4 Reinterpretasi Citra Wajah Farah Quinn

Gambar 4.10 di bawah merupakan citra wajah artis Farah Quinn yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.10 Citra wajah Farah Quinn

Selanjutnya pada Gambar 4.11 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Farah Quinn dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.11 Reinterpretasi citra wajah Farah Quinn

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Farah Quinn melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.12 yang meliputi persentase sebagai berikut:

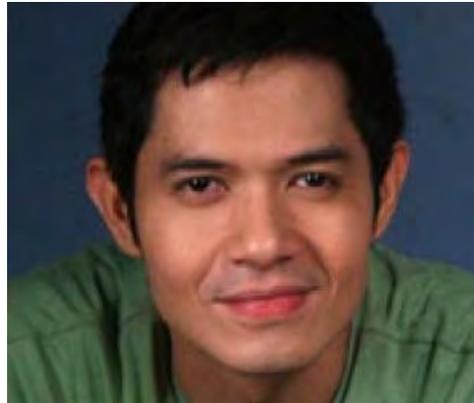
- Persentase jawaban benar dari responden sebesar 13%.
- Persentase jawaban salah dari responden sebesar 87%.



Gambar 4.12 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Farah Quinn

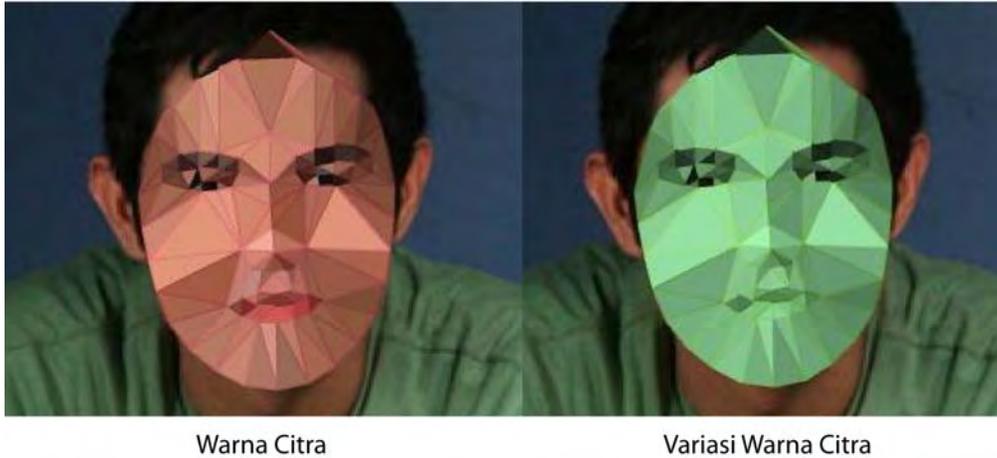
4.1.5 Reinterpretasi Citra Wajah Dude Harlino

Gambar 4.13 di bawah merupakan citra wajah artis Dude Harlino yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.13 Citra wajah Dude Harlino

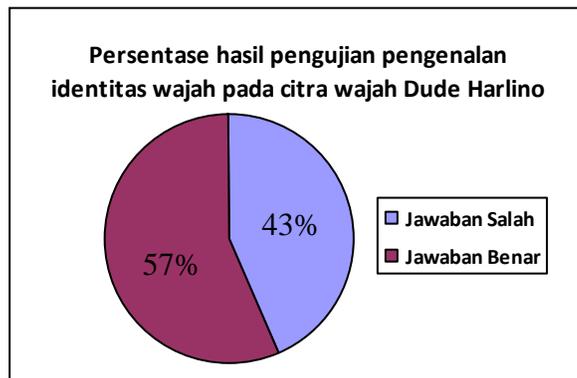
Selanjutnya pada Gambar 4.14 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Dude Harlino dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.14 Reinterpretasi citra wajah Dude Harlino

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Dude Harlino melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.15 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 57%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 43%.



Gambar 4.15 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Dude Harlino

4.1.6 Reinterpretasi Citra Wajah Syahrini

Gambar 4.16 di bawah merupakan citra wajah artis Syahrini yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis.



Gambar 4.16 Citra wajah Syahrini

Selanjutnya pada Gambar 4.17 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Syahrini dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata, bibir, hidung, dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



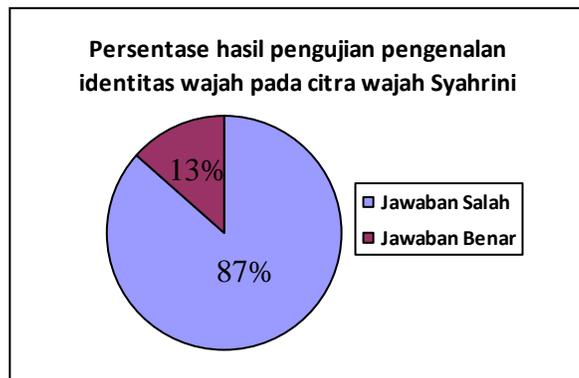
Warna Citra

Variasi Warna Citra

Gambar 4.17 Reinterpretasi citra wajah Syahrini

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Syahrini melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.18 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- Persentase jawaban benar dari responden sebesar 13%.
- Persentase jawaban salah dari responden sebesar 87%.



Gambar 4.18 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Syahrini

4.1.7 Reinterpretasi Citra Wajah Susilo Bambang Yudhoyono

Gambar 4.19 di bawah merupakan citra wajah *public figure* Susilo Bambang Yudhoyono yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai *public figure*.



Gambar 4.19 Citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono

Selanjutnya pada Gambar 4.20 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



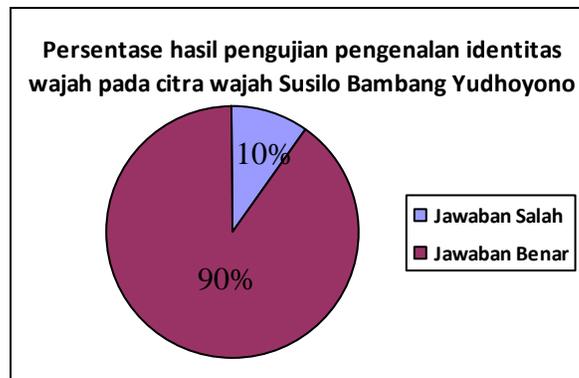
Warna Citra

Variasi Warna Citra

Gambar 4.20 Reinterpretasi citra wajah Susilo Bambang Yudhoyono

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Susilo Bambang Yudhoyono melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.21 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 90%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 10%.



Gambar 4.21 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Susilo Bambang Yudhoyono

4.1.8 Reinterpretasi Citra Wajah Tri Rismaharini

Gambar 4.22 di bawah merupakan citra wajah *public figure* Tri Rismaharini yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai *public figure*.



Gambar 4.22 Citra wajah Tri Rismaharini

Selanjutnya pada Gambar 4.23 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Tri Rismaharini dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.23 Reinterpretasi citra wajah Tri Rismaharini

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Susilo Bambang Yudhoyono melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.24 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- Persentase jawaban benar dari responden sebesar 3%.
- Persentase jawaban salah dari responden sebesar 97%.



Gambar 4.24 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Tri Rismaharini

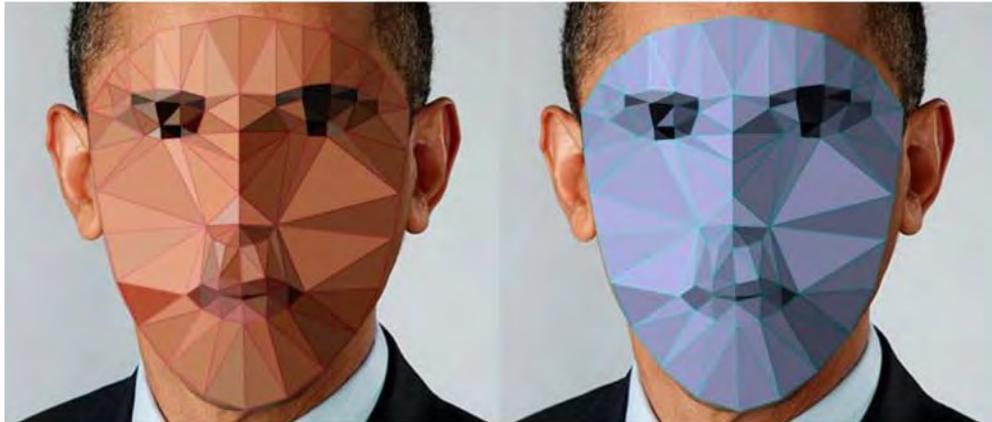
4.1.9 Reinterpretasi Citra Wajah Barrack Obama

Gambar 4.25 di bawah merupakan citra wajah *public figure* Barrack Obama yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai *public figure*.



Gambar 4.25 Citra wajah Barrack Obama

Selanjutnya pada Gambar 4.26 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Barrack Obama dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah bibir dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



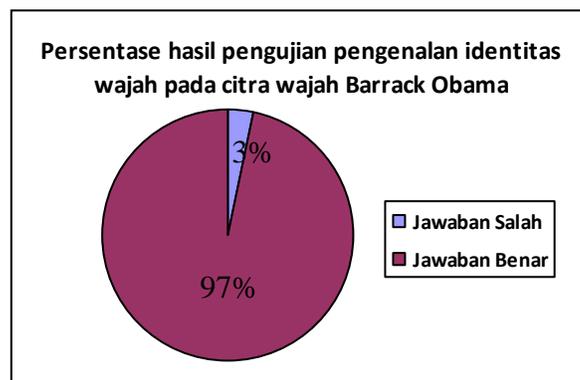
Warna Citra

Variasi Warna Citra

Gambar 4.26 Reinterpretasi citra wajah Barack Obama

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Barack Obama melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.27 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- Persentase jawaban benar dari responden sebesar 3%.
- Persentase jawaban salah dari responden sebesar 97%.



Gambar 4.27 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Barack Obama

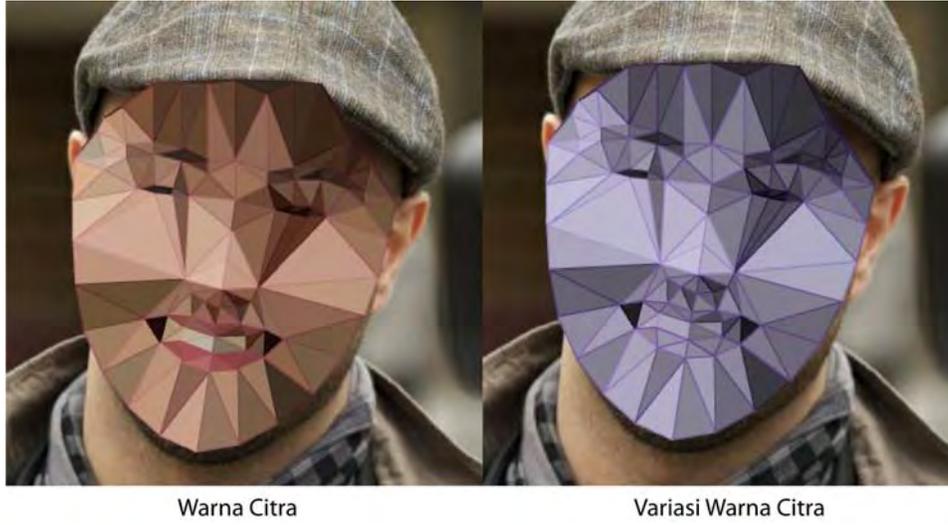
4.1.10 Reinterpretasi Citra Wajah Maher Zain

Gambar 4.28 di bawah merupakan citra wajah artis (penyanyi) Maher Zain yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena citra wajah tersebut memenuhi kesesuaian secara teknis pada penelitian dan terkenal identitas dirinya sebagai artis (penyanyi).



Gambar 4.28 Citra wajah Maher Zain

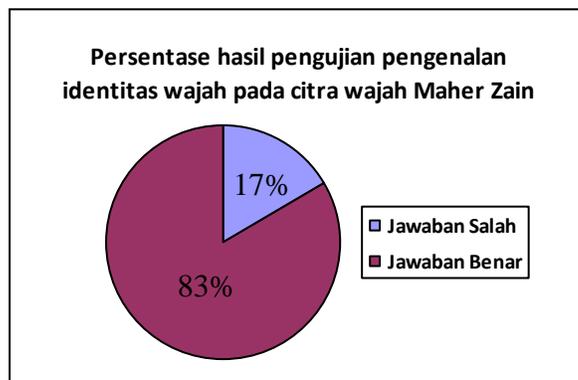
Selanjutnya pada Gambar 4.29 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah Maher Zain dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan identitas wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata, kelengkungan wajah bagian atas, dan kelengkungan wajah bagian bawah. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras.



Gambar 4.29 Reinterpretasi citra wajah Maher Zain

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah Maher Zain melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.30 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 83%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 17%.



Gambar 4.30 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan identitas wajah Maher Zain

4.2 Pengujian Pengenalan Ekspresi Wajah

Sub Bab 4.2.1 hingga Sub Bab 4.2.12 merupakan dua belas citra wajah dan reinterpretasinya dengan gaya visual triangulasi versi warna citra dan variasi warna citra yang disajikan pada kuesioner pengujian. Responden mengisi kuesioner pengujian dengan memilih salah satu pilihan jawaban ekspresi wajah yang disajikan pada kuesioner yakni *Happy*, *Sad*, *Angry*, *Disgust*, *Fear*, dan *Surprise*. Pilihan jawaban ekspresi wajah tersebut merupakan pilihan jawaban yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya yang juga terkait dengan bidang *image processing*. Setiap ekspresi wajah meliputi dua citra wajah dengan personal yang berbeda.

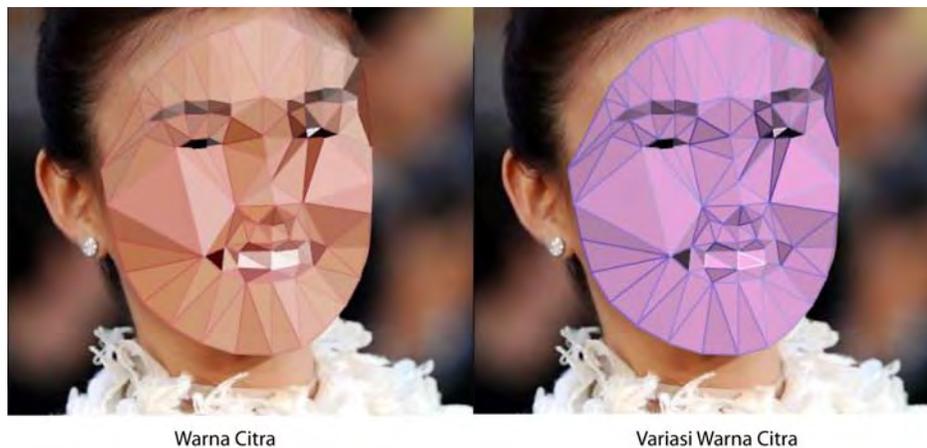
4.2.1 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-1 Dengan Ekspresi *Happy*

Gambar 4.31 di bawah merupakan citra wajah ke-1 dengan ekspresi *happy* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.31 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *happy* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *happy* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.31 Citra wajah ke-1 dengan ekspresi *happy*

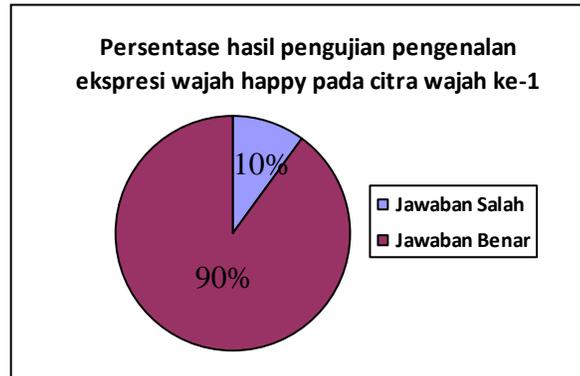
Selanjutnya pada Gambar 4.32 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-1 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah pipi dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *happy*.



Gambar 4.32 Reinterpretasi citra wajah ke-1 dengan ekspresi *happy*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-1 dengan ekspresi *happy* melalui hasil reinterformasinya disajikan pada Gambar 4.33 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 90%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 10%.



Gambar 4.33 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *happy* pada citra wajah ke-1

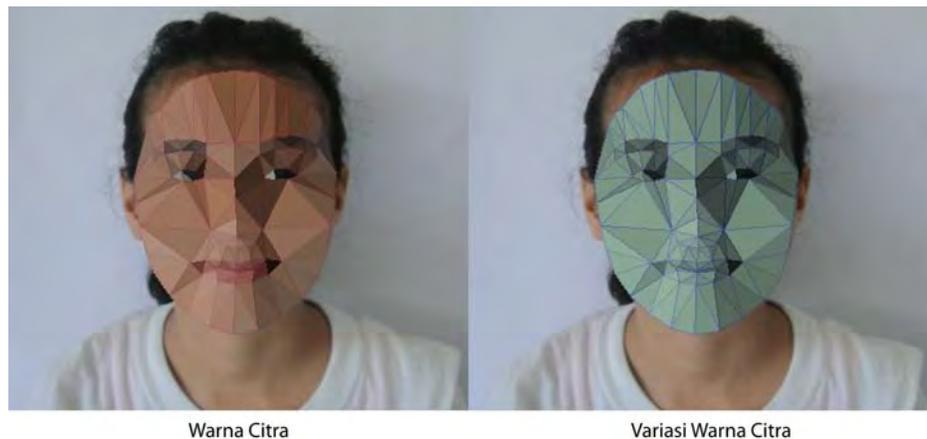
4.2.2 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-2 Dengan Ekspresi *Happy*

Gambar 4.34 di bawah merupakan citra wajah ke-2 dengan ekspresi *happy* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-2 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *happy*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *happy* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *happy* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.34 Citra wajah ke-2 dengan ekspresi *happy*

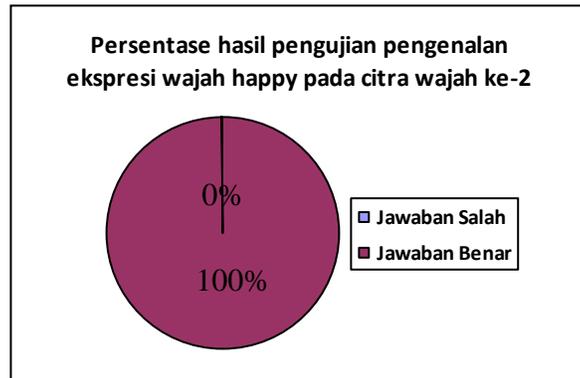
Selanjutnya pada Gambar 4.35 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-2 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *happy*.



Gambar 4.35 Reinterpretasi citra wajah ke-2 dengan ekspresi *happy*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-2 dengan ekspresi *happy* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.36 yang meliputi persentase sebagai berikut:

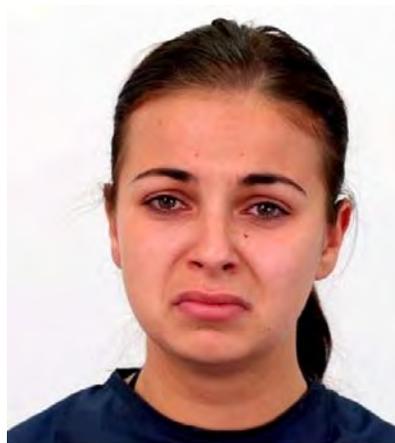
- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 100%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 0%.



Gambar 4.36 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *happy* pada citra wajah ke-2

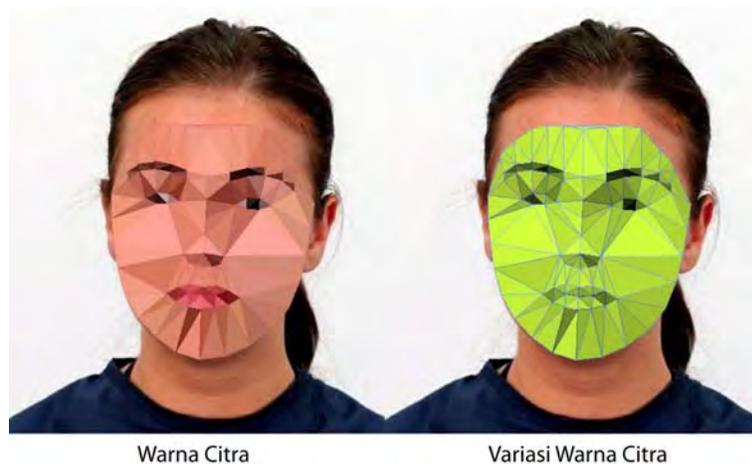
4.2.3 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-3 Dengan Ekspresi *Sad*

Gambar 4.37 di bawah merupakan citra wajah ke-3 dengan ekspresi *sad* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.37 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *sad* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *sad* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.37 Citra wajah ke-3 dengan ekspresi *sad*

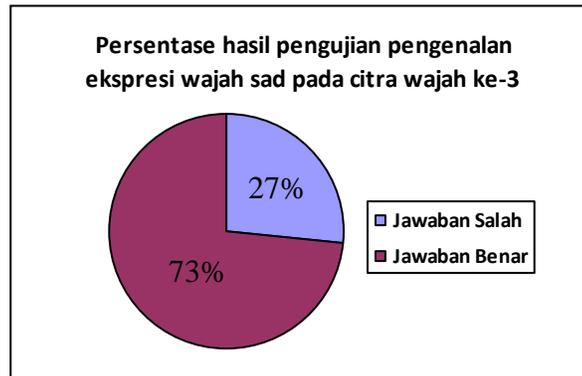
Selanjutnya pada Gambar 4.38 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-3 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah bibir dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *sad*.



Gambar 4.38 Reinterpretasi citra wajah ke-3 dengan ekspresi *sad*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-3 dengan ekspresi *sad* melalui hasil reinterpetasinya disajikan pada Gambar 4.39 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 73%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 27%.



Gambar 4.39 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *sad* pada citra wajah ke-3

4.2.4 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-4 Dengan Ekspresi *Sad*

Gambar 4.40 di bawah merupakan citra wajah ke-4 dengan ekspresi *sad* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.40 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *sad* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *sad* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.40 Citra wajah ke-4 dengan ekspresi *sad*

Selanjutnya pada Gambar 4.41 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-4 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah bibir, hidung, dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *sad*.



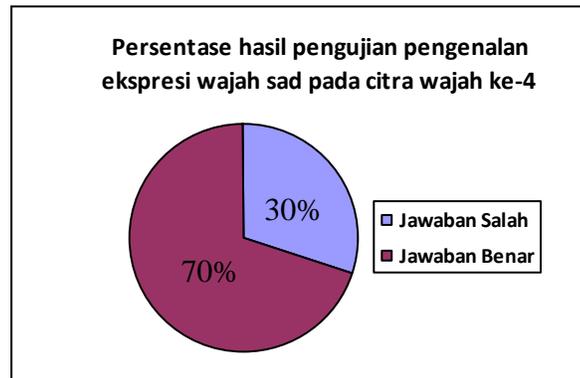
Warna Citra

Variasi Warna Citra

Gambar 4.41 Reinterpretasi citra wajah ke-4 dengan ekspresi *sad*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-4 dengan ekspresi *sad* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.42 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 70%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 30%.



Gambar 4.42 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *sad* pada citra wajah ke-4

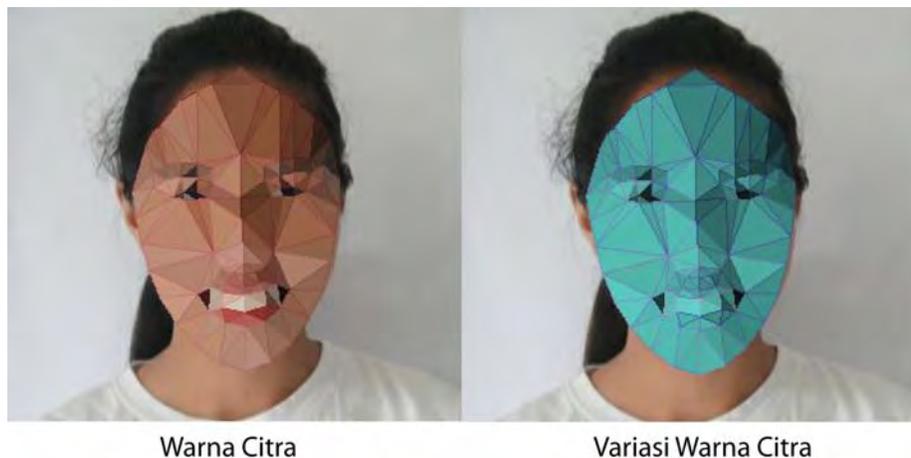
4.2.5 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-5 Dengan Ekspresi *Disgust*

Gambar 4.43 di bawah merupakan citra wajah ke-5 dengan ekspresi *disgust* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-5 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *disgust*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.43 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *disgust* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *disgust* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.43 Citra wajah ke-5 dengan ekspresi *disgust*

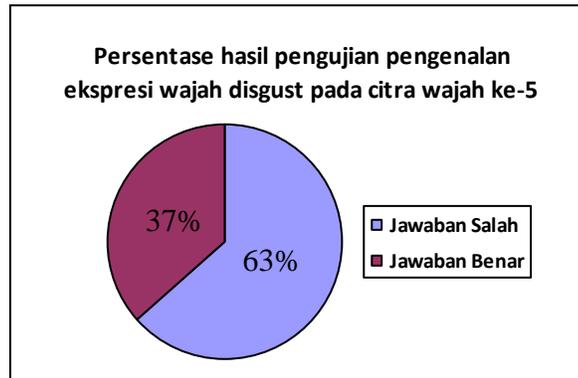
Selanjutnya pada Gambar 4.44 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-5 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *disgust*.



Gambar 4.44 Reinterpretasi citra wajah ke-5 dengan ekspresi *disgust*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-5 dengan ekspresi *disgust* melalui hasil reinteretasinya disajikan pada Gambar 4.45 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 37%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 63%.



Gambar 4.45 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *disgust* pada citra wajah ke-5

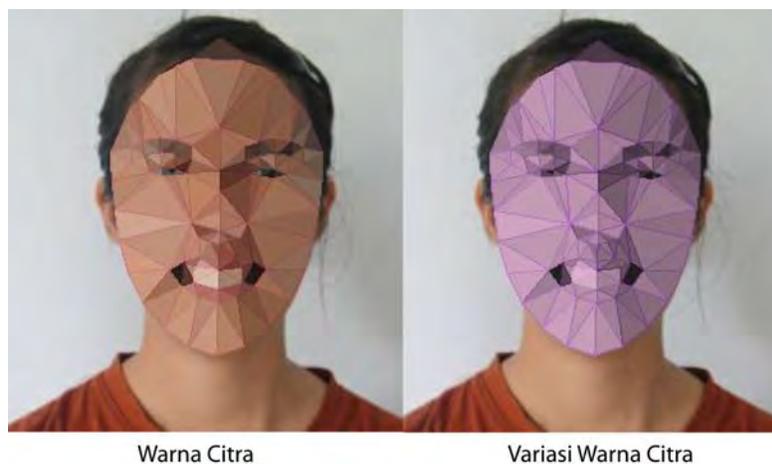
4.2.6 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-6 Dengan Ekspresi *Disgust*

Gambar 4.46 di bawah merupakan citra wajah ke-6 dengan ekspresi *disgust* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-6 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *disgust*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.46 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *disgust* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *disgust* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.46 Citra wajah ke-6 dengan ekspresi *disgust*

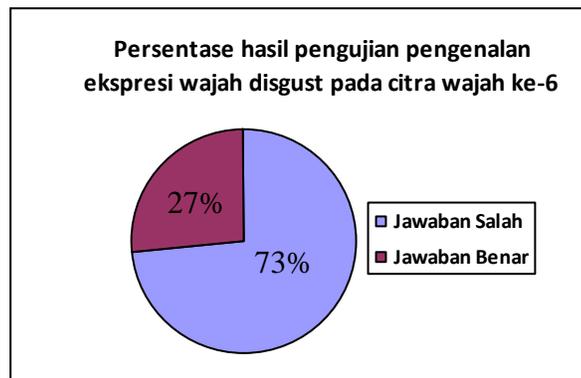
Selanjutnya pada Gambar 4.47 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-6 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *disgust*.



Gambar 4.47 Reinterpretasi citra wajah ke-6 dengan ekspresi *disgust*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-6 dengan ekspresi *disgust* melalui hasil reinterpetasinya disajikan pada Gambar 4.48 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 73%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 27%.



Gambar 4.48 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *disgust* pada citra wajah ke-6

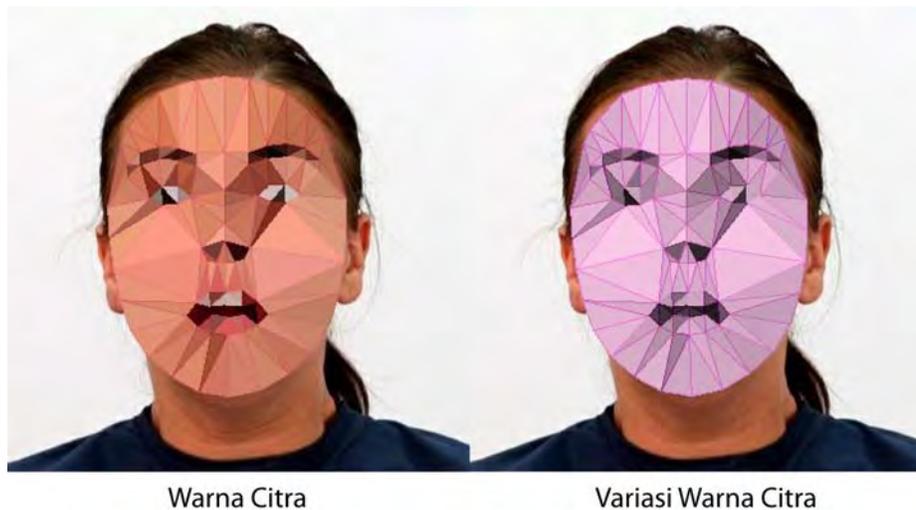
4.2.7 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-7 Dengan Ekspresi *Fear*

Gambar 4.49 di bawah merupakan citra wajah ke-7 dengan ekspresi *fear* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.49 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *fear* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *fear* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.49 Citra wajah ke-7 dengan ekspresi *fear*

Selanjutnya pada Gambar 4.50 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-7 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *fear*.



Gambar 4.50 Reinterpretasi citra wajah ke-7 dengan ekspresi *fear*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-7 dengan ekspresi *fear* melalui hasil reinterformasinya disajikan pada Gambar 4.51 yang meliputi persentase sebagai berikut:

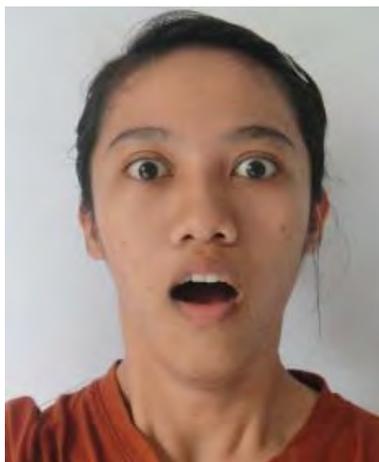
- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 90%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 10%.



Gambar 4.51 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *fear* pada citra wajah ke-7

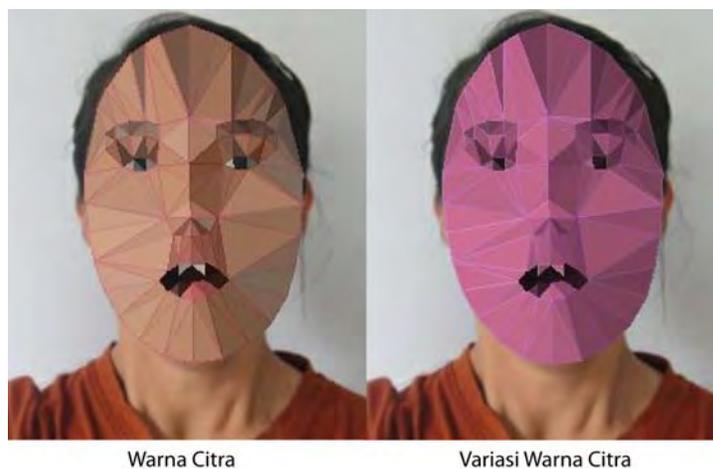
4.2.8 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-8 Dengan Ekspresi *Fear*

Gambar 4.52 di bawah merupakan citra wajah ke-8 dengan ekspresi *fear* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-8 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *fear*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.52 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *fear* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *fear* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.52 Citra wajah ke-8 dengan ekspresi *fear*

Selanjutnya pada Gambar 4.53 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-8 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah bibir, kelengkungan wajah bagian atas, dan kelengkungan wajah bagian bawah. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *fear*.



Gambar 4.53 Reinterpretasi citra wajah ke-8 dengan ekspresi *fear*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-8 dengan ekspresi *fear* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.54 yang meliputi persentase sebagai berikut:

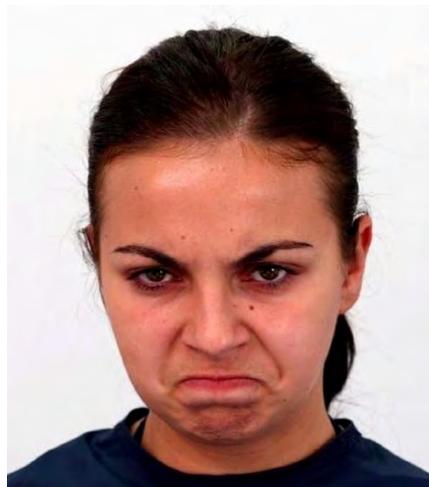
- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 50%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 50%.



Gambar 4.54 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *fear* pada citra wajah ke-8

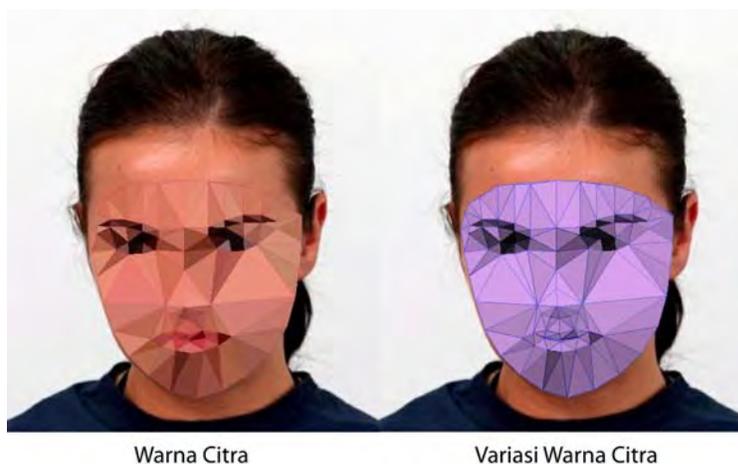
4.2.9 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-9 Dengan Ekspresi *Angry*

Gambar 4.55 di bawah merupakan citra wajah ke-9 dengan ekspresi *angry* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.55 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *angry* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *angry* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.55 Citra wajah ke-9 dengan ekspresi *angry*

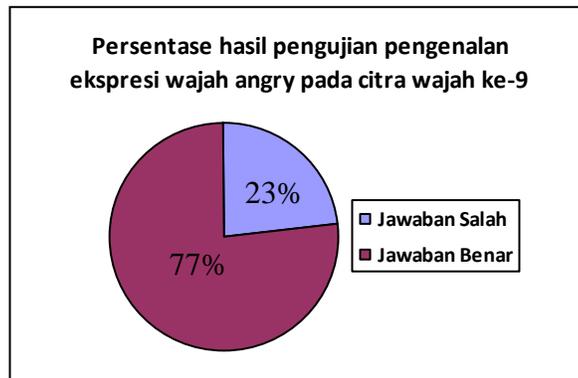
Selanjutnya pada Gambar 4.56 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-9 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah bibir dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *angry*.



Gambar 4.56 Reinterpretasi citra wajah ke-9 dengan ekspresi *angry*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-9 dengan ekspresi *angry* melalui hasil reinteretasinya disajikan pada Gambar 4.57 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 77%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 23%.



Gambar 4.57 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *angry* pada citra wajah ke-9

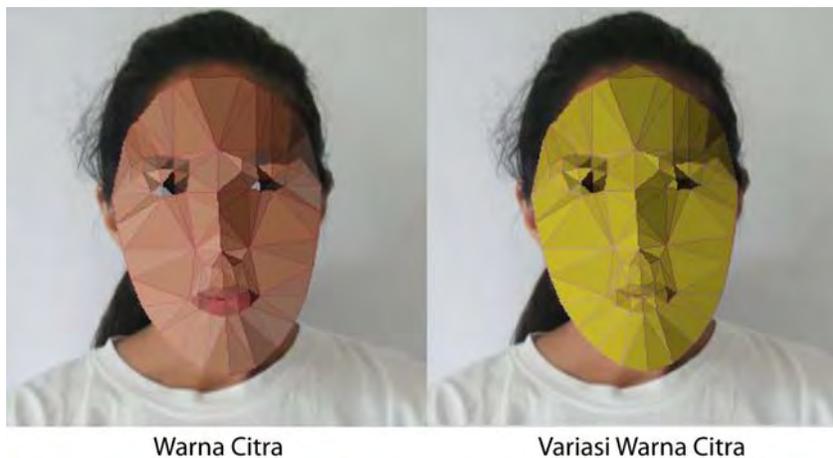
4.2.10 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-10 Dengan Ekspresi *Angry*

Gambar 4.58 di bawah merupakan citra wajah ke-10 dengan ekspresi *angry* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-10 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *angry*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.58 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *angry* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *angry* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.58 Citra wajah ke-10 dengan ekspresi *angry*

Selanjutnya pada Gambar 4.59 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-10 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata, kelengkungan wajah bagian atas, dan kelengkungan wajah bagian bawah. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *angry*.



Gambar 4.59 Reinterpretasi citra wajah ke-10 dengan ekspresi *angry*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-10 dengan ekspresi *angry* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.60 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 40%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 60%.



Gambar 4.60 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *angry* pada citra wajah ke-10

4.2.11 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-11 Dengan Ekspresi *Surprise*

Gambar 4.61 di bawah merupakan citra wajah ke-11 dengan ekspresi *surprise* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.61 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *surprise* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *surprise* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.61 Citra wajah ke-11 dengan ekspresi *surprise*

Selanjutnya pada Gambar 4.62 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-11 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mata dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *surprise*.



Gambar 4.62 Reinterpretasi citra wajah ke-11 dengan ekspresi *surprise*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-11 dengan ekspresi *surprise* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.63 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 37%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 63%.



Gambar 4.63 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *surprise* pada citra wajah ke-11

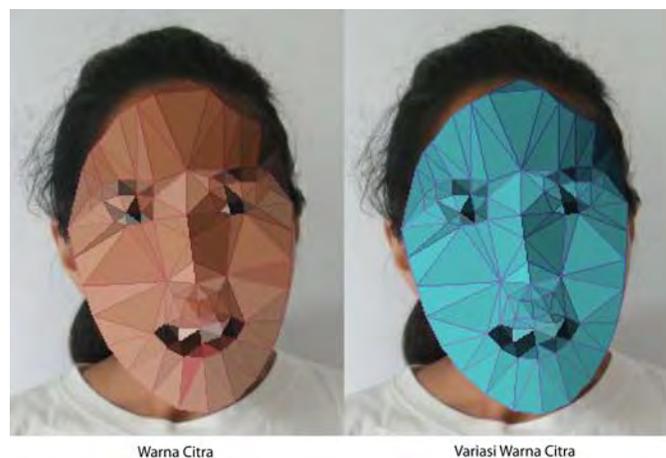
4.2.12 Reinterpretasi Citra Wajah Ke-12 Dengan Ekspresi *Surprise*

Gambar 4.64 di bawah merupakan citra wajah ke-12 dengan ekspresi *surprise* yang digunakan sebagai pengujian hasil penelitian karena memenuhi kesesuaian secara teknis untuk citra wajah yang dapat digunakan pada penelitian. Citra wajah ke-12 diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan personal yang mampu menampilkan ekspresi *surprise*. Fitur-fitur wajah serta mimik wajah pada Gambar 4.64 menunjukkan bahwa personal pada citra tersebut memiliki ekspresi *surprise* sehingga dapat digunakan sebagai citra wajah dengan ekspresi *surprise* untuk pengujian hasil penelitian.



Gambar 4.64 Citra wajah ke-12 dengan ekspresi *surprise*

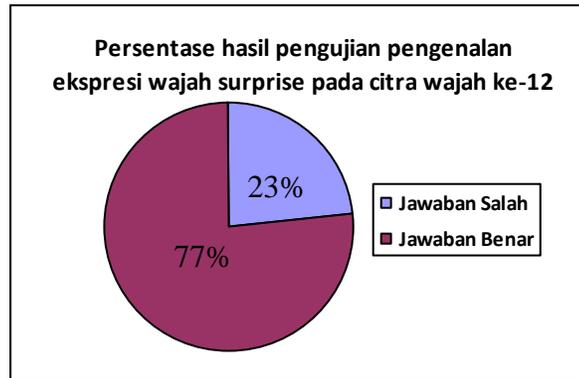
Selanjutnya pada Gambar 4.65 di bawah merupakan hasil reinterpretasi citra wajah ke-12 dengan gaya visual triangulasi yang menggunakan warna citra dan variasi warna citra. Variasi warna citra diperoleh dengan mengatur nilai *hue* dan *saturation* secara *random* dari nilai warna citra yang telah didapatkan terlebih dahulu. Variasi warna citra digunakan sebagai variasi warna pada hasil reinterpretasi, namun tidak memberikan pengaruh pada kejelasan ekspresi wajah pada citra. Pada hasil reinterpretasi, ketidaktepatan letak *vertex* yang mengakibatkan ketidaktepatan pada bentuk *mesh* triangulasi *Delaunay* terlihat pada daerah mulut dan kelengkungan wajah bagian atas. Selain itu terdapat ketidaktepatan pengambilan beberapa warna secara otomatis pada *mesh* triangulasi *Delaunay* sehingga menghasilkan warna dengan perbedaan gelap terang yang terlalu kontras. *Mesh* triangulasi *Delaunay* yang telah terbentuk kurang mampu menghasilkan reinterpretasi fitur-fitur wajah dan mimik wajah dengan ekspresi *surprise*.



Gambar 4.65 Reinterpretasi citra wajah ke-12 dengan ekspresi *surprise*

Diagram persentase hasil pengisian kuesioner dengan tiga puluh responden untuk pengujian pengenalan identitas wajah ke-12 dengan ekspresi *surprise* melalui hasil reinterpretasinya disajikan pada Gambar 4.66 yang meliputi persentase sebagai berikut:

- a. Persentase jawaban benar dari responden sebesar 77%.
- b. Persentase jawaban salah dari responden sebesar 23%.



Gambar 4.66 Diagram persentase hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah *surprise* pada citra wajah ke-12

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA

Bagian penutup pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian utama, yakni bagian kesimpulan dan penelitian selanjutnya. Bagian kesimpulan memuat rincian dan rangkuman hasil pengujian pengenalan identitas wajah serta hasil pengujian pengenalan ekspresi wajah, sedangkan bagian penelitian selanjutnya memuat saran positif yang dapat membangun untuk melakukan pengembangan penelitian.

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan kombinasi beberapa metode yang digunakan sebagai tahapan dalam penelitian, yakni metode *Active Appearance Model (AAM)* untuk menentukan 66 buah titik pada fitur wajah, menambahkan 14 titik selain titik pada fitur wajah, metode *Delaunay triangulation* untuk menghubungkan titik-titik (*vertex*) menjadi *mesh* triangulasi *Delaunay*, mengambil nilai warna titik tengah *mesh* triangulasi *Delaunay* sebagai warna *mesh* triangulasi *Delaunay*, dan memberikan nilai kedalaman pada titik-titik (*vertex*) *mesh* triangulasi *Delaunay*.

Pengujian hasil penelitian berupa kuesioner *online* dengan menyajikan reinterpretasi sepuluh citra wajah yang meliputi citra wajah artis dan *public figure*, serta dua belas citra wajah dengan enam ekspresi wajah. Reinterpretasi sepuluh citra wajah artis dan *public figure* digunakan sebagai pengujian pengenalan identitas wajah, sedangkan reinterpretasi dua belas citra wajah dengan enam ekspresi wajah digunakan sebagai pengujian pengenalan ekspresi wajah. Dari hasil perhitungan seluruh jawaban salah dan benar pada kuesioner dengan jumlah tiga puluh responden pada masing-masing kategori pengujian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pengujian pengenalan identitas wajah dengan persentase total jawaban salah adalah 45% dan persentase total jawaban benar adalah 55%.
- b. Pengujian pengenalan ekspresi wajah dengan persentase total jawaban salah adalah 36% dan persentase total jawaban benar adalah 64%.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Beberapa penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan dengan memperhatikan saran yang positif dari kesimpulan hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memperbaiki ketepatan letak dan jumlah titik-titik (*vertex*) pada citra wajah manusia dengan menyempurnakan metode *Active Appearance Model* (AAM).
2. Memberikan warna pada *mesh* triangulasi *Delaunay* selain dengan menggunakan nilai warna titik tengah *mesh* triangulasi *Delaunay*.
3. Mendapatkan nilai kedalaman titik-titik (*vertex*) secara *real time*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhaqqi, Raga Mukti. "Finger Tracking Untuk Interaksi Pada Virtual Keyboard", Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Berg, Mark de, and Marc van Kreveld. "Computational Geometry: Algorithms and Applications", Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- Bertram, Martin, Shirley E. Konkle, Hans Hagen, Bernd Hamann, and Kenneth I. Joy. "Terrain Modeling Using Voronoi Hierarchies".
- Chen, Chun-Wei and Chieh-Chih Wang. "3D Active Appearance Model for Aligning Faces in 2D Images", Taiwan.
- Cootes T. F. and Taylor C. J. "Statistical Models of Appearance for Computer Vision", 26 Oktober 2001.
- G. Christophe, O. Jorn, and Tim Cootes. "Facial Image Processing", EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2007.
- Hidayatno, Achmad, dkk. "Penentuan Wilayah Wajah Manusia Pada Citra Berwarna Berdasarkan Warna Kulit Dengan Metode Template Matching", Teknik Elektro, Universitas Semarang.
- Matthews, Iain, Jing Xiao, and Simon Baker. "2D vs. 3D Deformable Face Models : Representational Power, Construction, and Real-Time Fitting".
- Matthews, Iain and Simon Baker. "Active Appearance Models Revisited".
- Muliyadi, Tulus, dan Fahmi. "Deteksi Fitur Wajah Manusia Tanpa Marker Aktif Menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA)", Special Issue 2013 : Image Processing.
- Sediyono, Eko. "Perbaikan Kinerja Algoritma Triangulasi Delaunay Sekuensial Dan Implementasinya Pada Komputasi Paralel Berbasis Pc Untuk Membangun Rekonstruktor Obyek Tiga Dimensi". (Disertasi) Universitas Indonesia, Depok, 2005.
- Setyo Pambudi, Wahyu, Bon Maria. "Face Tracker Menggunakan Metode Haar Like Feature dan PID Pada Model Simulasi", Jurnal Teknologi dan Informatika (Teknomatika), Vol. 2 No. 2, Mei 2012.
- Shewchuk, Jonathan Richard. "The Delaunay Triangulation and Unstructured Lecture Notes on Delaunay Mesh Generation 1:10-15", 1999.

Taufiqurrahman. “Rekonstruksi Permukaan Tiga Dimensi Area Point Clouds Dengan Algoritma Triangulasi Delaunay”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2010.

Wilson, Philip Ian, Dr. John Fernandez. “Facial Feature Detection Using HAAR Classifiers”, Texas A&M University – Corpus.

Zimmer, Henrik. “Voronoi and Delaunay Triangulation”, 30 Juli 2005.