



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMALISASI DERAJAT POLINOMIAL MOMEN
ZERNIKE UNTUK PENGENALAN CITRA GIGI DENGAN
SISTEM INFERENSI FUZZY**

TESIS

SHINTA OKTAVIANA R

0806444682

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
DEPOK
APRIL 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMALISASI DERAJAT POLINOMIAL MOMEN
ZERNIKE UNTUK PENGENALAN CITRA GIGI DENGAN
SISTEM INFERENSI FUZZY**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Ilmu Komputer

SHINTA OKTAVIANA

0806444682

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER

DEPOK

APRIL 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Shinta Oktaviana R

NPM : 0806444682

Tanda Tangan :

Tanggal : APRIL 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Shinta Oktaviana

NPM : 0806444682

Program Studi : Fakultas Ilmu Komputer, Magister Ilmu Komputer

Judul Skripsi : Optimalisasi Derajat Polinomial Momen Zernike untuk
Pengenalan Citra Gigi dengan Sistem Inferensi Fuzzy

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Master Ilmu Komputer pada Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Eng. M. Rahmat Widyanto ()

Penguji : Setiadi Yazid, Ph.D ()

Penguji : Petrus Mursanto, Ir, M.Sc, Dr ()

Penguji : Indra Budi, S.Kom, M.Kom, Dr ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : APRIL 2010

KATA PENGANTAR

Alhamulillah, puji syukur diucapkan kepada Allah SWT yang telah memberi banyak kemudahan pada Penulis – Shinta Oktaviana – sehingga mampu menyelesaikan tesis yang berjudul “Optimalisasi Derajat Polinomial Momen Zernike untuk Pengenalan Citra Gigi dengan Sistem Inferensi Fuzzy”.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga tesis dan laporan tesis ini berhasil diselesaikan. Ucapan terima kasih khusus Penulis sampaikan kepada :

1. Papa dan Mama (Bpk. Rakhman R dan Ibu Amnah HS), setiap huruf yang tertulis adalah doa dan cinta kalian.
2. Suami tercinta, Moh.Fadil Rasyid, ruh dari tulisan ini adalah cintamu, tinta dari tulisan ini adalah semangat darimu, dan atas pengertianmu untukmu tesis ini ku persembahkan.
3. Dr. Eng. M. Rahmat Widyanto, selaku pembimbing tesis dan pembimbing akademik Penulis. Terima kasih Pak, terima kasih atas bimbingan, arahan, ilmu yang dibagi, dan atas obrolan penyemangat yang tak ada duanya.
4. Drg. Nurtami Soedarsono, Ph.D, yang telah banyak membagi pengetahuan tentang *dental forensic*, *dental radiology*, dan bimbingan yang diberikan selama penulisan. Terima kasih Ibu, untuk semua kebaikannya selama ini.
5. Bapak Yusuf Khudri dan Bapak Daniel sebagai Pimpinan tempat Penulis bekerja. Terima kasih atas izin, kelonggaran waktu bekerja, dan Ilmu yang diberikan. *Never has the best boss like you before.*
6. Bintang Rasyid Alfatih. Anakku terkasih. Celoteh, tangis, rajukan, pertanyaan, obrolan, dan semua yang dilakukan menjadikan penyelesaian tugas ini penuh warna.
7. Para dosen Fasilkom UI, Pak Dana Indra, Pak Wahyu, Pak Eko, Herik, Pak Ade, Pak Ruli, Pak Dana, Pak Setiadi Yazid, dan dosen lain yang

tidak bisa penulis satu persatu. Terima kasih atas segala ilmu yang telah diberikan.

8. Ayuk Santy, Roby, Kiki, dan Davi. Selalu ada keceriaan antara Lahat dan Depok, terima kasih atas hiburan dan cintanya.
9. Ana, teman kantor penulis. Rasanya ucapan terima kasih saja tak cukup membalas semua bantuan yang telah Penulis terima selama ini.
10. Rini, Priadana, Diko, Ano, Tony, Haris, dan semua anggota di lab MMU Fasilkom, yang menjadi teman diskusi, teman curhat, dan teman janji ke kampus.
11. Ibu Dwiza, Retno, Ken, Yana, Pak Aan, Pak Riwi, dan semua teman-teman MIK angkatan 2008, terima kasih atas kebersamaan selama ini.
12. Lily, Ning, Wida, Fati, Iren, Ifat, Qonita, dan semua teman-teman kuliah S1 Fasilkom.
13. Seluruh keluarga besar Fasilkom UI, terima kasih banyak atas segala jasanya.

Depok, April 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shinta Oktaviana R
NPM : 0806444682
Program Studi : Magister Ilmu Komputer
Fakultas : Ilmu Komputer
Jenis Karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Optimalisasi Derajat Polinomial Momen Zernike untuk Pengenalan Citra Gigi dengan Sistem Inferensi Fuzzy

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: April 2010

Yang menyatakan

(Shinta Oktaviana R)

ABSTRAK

Nama : Shinta Oktaviana
Program Studi : Ilmu Komputer
Judul : Optimalisasi Derajat Polinomial Momen Zernike untuk Pengenalan Citra Gigi dengan Sistem Inferensi Fuzzy

Pada penelitian ini akan diajukan metode untuk menentukan derajat momen Zernike optimal menggunakan pendekatan sistem inferensi fuzzy. Masing-masing variabel masukan himpunan fuzzy adalah hasil perhitungan selisih koefisien korelasi antar momen Zernike dari derajat yang berdampingan, total selisih koefisien korelasi, selisih nilai euclidean antar momen Zernike dari derajat yang berdampingan, dan total selisih Euclidean. Sementara variabel keluaran yang digunakan adalah nilai derajat kemiripan citra gigi x-ray. Pemetaan variabel masukan ke variabel keluaran ditentukan dengan melalui 8 aturan fuzzy. Dari 56 citra gigi x-ray yang diujicobakan, yang didapat dari beberapa rumah sakit di Jakarta, metode yang diajukan berhasil menemukan kembali citra asli setelah mengalami rotasi dengan tingkat keberhasilan 100%. Rata-rata waktu eksekusi yang digunakan metode yang diajukan dalam hal ekstraksi ciri citra dan pencarian citra mencapai 3 kali lebih cepat dari metode konvensional. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem inferensi fuzzy sebagai metode penentu optimum derajat momen Zernike mampu meningkatkan ketepatan pencarian dan efisiensi waktu pada proses identifikasi korban bencana massal menggunakan struktur gigi.

Kata kunci: Pencocokan dental, Momen Zernike, Identifikasi korban bencana

ABSTRACT

Name : Shinta Oktaviana
Study Program : Computer
Title : Optimalisasi Derajat Polinomial Momen Zernike untuk
Pengenalan Citra Gigi dengan Sistem Inferensi Fuzzy

This research will propose new method using fuzzy inference system to determine the optimal degree of Zernike moment. using correlation coefficient and euclidean distance as input variable for fuzzy set. Where difference between the correlation coefficients of the Zernike moment of adjoining degrees, the total difference in the correlation coefficient, Euclidean difference between the value of the degree of Zernike moments are side by side, and the total difference Euclidean are detail fuzzy set for input variable. And for output variable using similarity degree of dental x-ray images. Using 8 fuzzy rules for mapping input varibel into output variable. 56 images of dental x-ray tested, obtained from some hostpital in Jakarta, the proposed method managed to find back the original image after a rotation with a 100% success rate. The average execution time of the proposed method is used in the extraction of image features and image search to reach 3 times faster than conventional method. These results indicate that the propose method of determining the optimum degree of Zernike moments can improve search accuracy and efficiency of the time in the process of human identification in disaster victim using dental structures

Keyword:

Dental Matching, Zernike Moment, Disaster Victime identification

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 6 |
| 2.1 Fungsi Momen | 6 |
| 2.1.1 Sejarah dan Definisi Momen | 6 |
| 2.1.2 Polinomial Zernike | 7 |
| 2.1.3 Momen Zernike | 10 |
| 2.1.4 Derajat Zernike Momen | 14 |
| 2.2 Logika Fuzzy | 16 |
| 2.2.1 Sistem Inferensi Fuzzy | 19 |
| 2.3 Koefisien Korelasi | 21 |
| 2.4 Jarak Euclidean | 22 |
| 2.5 Citra Gigi | 23 |

| | |
|--|----|
| BAB III USULAN OPTIMALISASI MOMEN ZERNIKE MENGGUNAKAN SISTEM INFERENSI FUZZY | 25 |
| 3.1 Spesifikasi Pengembangan | 25 |
| 3.1.1 Perangkat Lunak..... | 25 |
| 3.1.2 Perangkat Keras..... | 25 |
| 3.2 Arsitektur Sistem..... | 25 |
| 3.3 Ekstraksi Citra..... | 26 |
| 3.4 Optimalisasi Ekstraksi Citra | 30 |
| 3.4.1 Sistem Inferensi Fuzzy Optimum Ekstraksi Ciri Citra | 32 |
| 3.5 Proses Penyimpanan Ekstraksi Ciri Citra..... | 38 |
| 3.6 Proses Identifikasi | 41 |
| BAB IV UJI COBA | 42 |
| 4.1 Skenario Uji Coba..... | 42 |
| 4.1.1 Metode Pembanding | 42 |
| 4.1.2 Skenario Pengujian..... | 42 |
| 4.2 Hasil Uji Coba..... | 44 |
| 4.3 Analisa..... | 48 |
| BAB V PENUTUP | 53 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 53 |
| 5.2 Saran..... | 54 |
| DAFTAR PUSTAKA | 55 |
| LAMPIRAN 1. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 1..... | 58 |
| LAMPIRAN 2. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 2..... | 60 |
| LAMPIRAN 3. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 3..... | 62 |
| LAMPIRAN 4. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 4..... | 64 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Batas Persamaan Polinomial Zernike | 8 |
| Gambar 2.2 Bentuk 3 Dimensi dari Polinomial Zernike, Gambar a untuk Persamaan $-1 + 2\rho^2$, Gambar b untuk Persamaan $1 - 6\rho^2 + 6\rho^4$, Gambar c untuk persamaan $-1 + 12\rho^2 - 30\rho^4 + 20\rho^6$ | 9 |
| Gambar 2.3 Transformasi $f(x,y)$ ke $f(\rho,\sigma)$ [Mukundan 1998]..... | 12 |
| Gambar 2.4 Citra Rekonstruksi | 15 |
| Gambar 2.5 Struktur Gigi Tunggal..... | 23 |
| Gambar 3.1 Diagram Alur Sistem | 26 |
| Gambar 3.2 Contoh Citra Gigi Berukuran 3508 x 1720 piksel..... | 27 |
| Gambar 3.3 Contoh Citra Gigi Berukuran 3508 x 1720 piksel..... | 28 |
| Gambar 3.4 Contoh Citra Gigi Masukan | 28 |
| Gambar 3.5 Kurva Hubungan Orde Polinomial dengan Tingkat Kemiripan..... | 29 |
| Gambar 3.6 Citra Hasil Rekonstruksi dari $p=0$ sampai $p=45$ | 30 |
| Gambar 3.7 Kurva Penggunaan Koefisien Korelasi Citra Asli dengan Citra Hasil Rekonstruksi..... | 31 |
| Gambar 3.8 Kurva Penggunaan jarak Euclidean Citra Asli dengan Citra Hasil Rekonstruksi..... | 32 |
| Gambar 3.10 Grafik dan Persamaan Garis Variabel TOTAL_CC | 34 |
| Gambar 3.11 Grafik dan Persamaan Garis Variabel SELISIH_NORM..... | 35 |
| Gambar 3.12 Grafik dan Persamaan Garis Variabel TOTAL_NORM..... | 35 |
| Gambar 3.13 Grafik dan Persamaan Garis Variabel KESAMAAN..... | 36 |
| Gambar 3.13 Format <i>file</i> XML yang digunakan | 39 |
| Gambar 3.15 Impelmentasi Proses Pembacaan <i>File</i> XML | 41 |
| Gambar 4.1 Alur Skenario Pengujian | 42 |
| Gambar 4.2 Antar Muka Aplikasi Pencocokan Citra Gigi | 43 |
| Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Penyimpanan Citra . | 49 |
| Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Normal | 50 |
| Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Rotasi | 51 |

Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Distorsi 52

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Analisa Perbandingan Jenis-jenis Fungsi Momen | 7 |
| Tabel 2.2 Bentuk Persamaan Polinomial Zernike | 9 |
| Tabel 2.3 Contoh Kasus Fungsi Keanggotaan | 17 |
| Tabel 4.1 Statistik Percobaan 1 | 45 |
| Tabel 4.2 Statistik Percobaan 2 | 46 |
| Tabel 4.3 Statistik Percobaan 3 | 47 |
| Tabel 4.4 Statistik Percobaan 4 | 48 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, sejak tahun 1981 telah menggunakan struktur gigi dalam proses identifikasi korban bencana. Dimulai dengan kejadian tenggelamnya kapal penumpang Tampomas II di perairan Masalembo, Sulsel pada 1981, kasus bom Bali I, kecelakaan Garuda Indonesia 2007, sampai pada kasus identifikasi teroris, Dr. Azhari [Anonymous 2008]. Proses Identifikasi korban bencana seperti ini dilakukan karena kebanyakan korban bencana tidak memiliki kondisi tubuh yang utuh, wajah yang rusak, sidik jari yang hilang, bahkan beberapa potong tubuh hilang. Sifat jaringan gigi yang kuat, tidak rusak karena terbakar api atau proses pembusukan, membuat struktur gigi korban bencana relatif utuh sehingga dapat dijadikan sumber dalam melakukan identifikasi korban bencana.

Berdasarkan data yang didapat dari PDGI (Persatuan Dokter Gigi Indonesia), pada kasus bom Bali 1, penggunaan struktur gigi mampu mengidentifikasi korban hingga 56% (dari total korban, 56% korban diidentifikasi melalui struktur gigi), kemudian pada kasus kecelakaan di Situbondo, 60% korban diidentifikasi menggunakan struktur gigi. Angka tertinggi dihasilkan pada kecelakaan Garuda Indonesia di bandar udara Yogyakarta pada tanggal 7 maret 2007, dimana 66.67 % korban berhasil diidentifikasi melalui struktur gigi [Anonymous 2008].

Dalam dokumen *Disaster Victim Identification (DVI) Guide* tahun 2007, identifikasi korban dilakukan dengan cara mencocokkan data *entemortem* korban dengan data *postmortem* korban. *Entemortem* (EM) adalah data-data yang dimiliki korban sebelum terjadi bencana, data ini didapat dari pihak keluarga/kerabat korban. Sementara *postmortem* (PM) adalah data yang didapat ketika terjadi bencana. Terdapat beberapa faktor yang dapat digunakan dalam melakukan identifikasi korban bencana, yaitu [Anonymous 2007] :

1. Faktor primer, yaitu analisa struktur gigi, dan analisa DNA.
2. Faktor sekunder, yaitu deskripsi personal pada saat ditemukan (*medical finding*), dan properti korban yang ditemukan seperti baju, dokumen identitas, dan aksesoris lainnya.

Pada tahun 2004 Anil K. Jain dan Chen melakukan penelitian untuk mencari kesamaan citra gigi x-ray secara komputerisasi. Metode yang digunakan adalah segmentasi citra gigi. Baik *entemortem* dan *postmortem*, citra gigi akan di-segmentasi menjadi citra gigi tunggal yang dibagi menjadi mahkota (*crown*) dan akar (*root*). Kemudian setiap bagian akan diambil kontur dari citra dan akan dibandingkan. Pada penelitian ini dilakukan 4 (empat) jenis perbandingan dalam proses pencocokan citra gigi x-ray, yaitu pencocokan kontur mahkota gigi, pencocokan kontur akar gigi, pencocokan kontur mahkota deret gigi, dan pencocokan kontur akar deret gigi. Kecocokan citra gigi x-ray di dapat dari nilai jarak ke empat kontur yang diambil [Jain 2004].

Pada proses yang dilakukan Jain dan Chen, tidak semua informasi gigi yang dikandung citra gigi digunakan dalam proses identifikasi manusia. Hal ini menjadi kelemahan metode ini. Identifikasi manusia menggunakan citra gigi tidak hanya berdasarkan bentuk lengkung garis luar dari gigi. Bentuk pulpa dan sulkus dari gigi merupakan bagian gigi yang diperhitungkan dalam proses indentifikasi manusia menggunakan struktur gigi.

P Ramprasad dan Parasuram melakukan penelitian menggunakan koefisien korelasi dalam proses penemuan kembali citra gigi yang telah mengalami rotasi. Suatu citra gigi di rotasi menggunakan transformasi *affine* dengan Θ° , kemudian koefisien korelasi digunakan untuk menghitung derajat kemiripan citra gigi setelah dirotasi dengan sebelum dirotasi [Nagaraj 2008].

Kemudian pada tahun 2009 dilakukan pencocokan citra gigi panoramik dengan menggunakan metode momen Zernike [Haris 2009]. Pada penelitian tersebut, digunakan citra gigi panoramik sebagai citra *entemortem* dan citra *postmortem*. Dibandingkan dengan metode segmentasi sebelumnya, penggunaan momen Zernike memberikan hasil lebih baik, karena kemampuan momen Zernike mengkodekan detil informasi dari citra gigi secara keseluruhan. Momen Zernike yang dibangun dari polinomial Zernike memiliki sifat *orthogonal*, sehingga mampu mengenali citra gigi panoramik yang mengalami rotasi.

Besarnya derajat polinomial Zernike yang digunakan menunjukkan besarnya ciri citra gigi yang dapat di-ekstraksi, akan tetapi semakin besar nilai

derajat polinomial Zernike membuat waktu komputasi semakin besar. Pada penelitian yang telah dilakukan, kita tidak dapat mengetahui berapa nilai derajat momen Zernik yang optimum untuk mengesktrak keseluruhan ciri citra gigi dengan waktu komputasi yang tidak terlalu besar, karena pengguna diminta untuk memberikan input derajat polinomial Zernike secara manual.

Sejak pertama kali diperkenalkan, logika fuzzy telah banyak di adopsi dalam menyelesaikan banyak permasalahan pengolahan citra, seperti pada proses segmentasi citra gigi yang dilakukan oleh Lai dan Lin pada tahun 2008, dimana penggunaan sistem inferensi fuzzy menunjukkan hasil yang lebih optimal untuk proses pemisahan bagian gigi dan gusi pada citra gigi x-ray [Lai 2008].

Tesis ini bertujuan untuk menentukan nilai derajat polinomial yang optimal dari momen Zernike dalam mengekstrak ciri citra gigi secara otomatis, sehingga proses identifikasi dapat dilakukan lebih tepat dan cepat, dan bagaimana menerapkan logika fuzzy sebagai solusi permasalahan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang difokuskan pada penelitian akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan nilai derajat polinomial optimal dari momen Zernike?
2. Parameter apa yang dapat dilakukan dalam mencari derajat polinomial optimal dari momen Zernike?
3. Bagaimana menerapkan logika fuzzy dalam pencarian nilai derajat polinomial?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan suatu aplikasi yang dapat digunakan untuk mencari citra gigi x-ray dari *database entemortem* yang cocok dengan citra gigi x-ray dari *postmortem* (sebagai citra gigi masukan). Aplikasi ini diharapkan dapat membantu proses identifikasi korban bencana massal sehingga proses identifikasi yang dilakukan secara manual selama ini dapat dilakukan secara otomatis dengan bantuan aplikasi komputer. Pemindahan proses manual

ke proses yang terkomputerisasi harus mampu mengurangi lama waktu proses dan meningkatkan derajat ketepatan kecocokan.

Modifikasi yang dilakukan pada metode momen Zernike difokuskan untuk menentukan nilai derajat polinomial dari momen Zernike yang optimal sehingga mampu mengkodekan semua informasi citra gigi dan mengurangi waktu yang digunakan untuk mengkodekan citra ke dalam nilai momen Zernike.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menggunakan citra gigi dari 56 objek citra yang berbeda (56 orang berbeda), dari 56 objek citra tersebut akan diambil 4 jenis citra gigi dengan variasi sudut pengambilan yang beragam (5° , 50° , 90° dan 130°) dan 1 jenis citra yang mengalami kerusakan. Pengambilan citra gigi x-ray bekerja sama dengan pihak Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia dan Rumah Sakit Umum Pertamina Pusat (RSPP).

Aplikasi ini dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman C# dan XML sebagai basis data yang menyimpan hasil citra gigi x-ray yang telah di kodekan. Proses pencocokan citra dan identifikasi manusia selanjutnya akan dijelaskan pada Bab III.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini adalah suatu aplikasi komputer yang mampu mengotomatisasi pencocokan citra gigi pada identifikasi korban bencana, sehingga kerja tim forensik dalam mengidentifikasi korban bencana dapat dilakukan lebih cepat dengan tingkat validasi hasil yang lebih akurat.

Selain itu inovasi yang dilakukan pada momen Zernike memberikan kontribusi pada pengembangan momen zernike dalam analisa citra yang lain sehingga dapat diterapkan pada bidang lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab. Bab I merupakan pendahuluan, berisi latar belakang dilakukan penelitian, rumusan

masalah yang dihasilkan oleh penulis, tujuan dilakukan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Bab II berisikan landasan teori yang digunakan penulis dalam melakukan penelitian. Pada bab ini dijelaskan metode momen Zernike yang digunakan sebagai metode ekstraksi ciri citra gigi, teori sistem inferensi fuzzy yang digunakan dalam proses menentukan derajat polinomial Zernike, dan beberapa teori-teori yang berkaitan dalam proses identifikasi citra gigi.

Pada bab III dibahas desain aplikasi yang dikembangkan, analisa terhadap beberapa metode yang digunakan dalam proses optimalisasi momen Zernike, penjelasan detail tentang metode yang diajukan penulis, serta keseluruhan sistem yang dikembangkan.

Skenario pengujian metode yang diajukan, hasil pengujian dari metode yang diajukan dan hasil pengujian dari metode pembandingan, serta analisa terhadap kedua hasil uji coba akan dibahas tersendiri pada bab IV. Bab V, merupakan penutup dari penulisan penelitian ini, berisi kesimpulan dari ujicoba yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dan saran yang diberikan penulis untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Fungsi Momen

2.1.1 Sejarah dan Definisi Momen

Sejak pertama kali diperkenalkan oleh Hu pada tahun 1962, fungsi momen telah banyak digunakan pada aplikasi analisa citra. Seperti untuk klasifikasi citra, pengenalan citra, rekonstruksi citra, dan pengenalan pola citra. Fungsi moment pertama kali yang digunakan oleh Hu adalah momen Geometrik, dimana pada momen Geometrik, persamaan Geometrik digunakan sebagai pendeskripsi fungsi-fungsi yang dimiliki citra [Mukundan 1998].

Jika suatu citra direpresentasikan pada suatu fungsi terdistribusi $f(x,y)$ dimana nilai pada fungsi tersebut adalah nilai piksel-piksel citra pada lokasi (x,y) , kita asumsikan bahwa terdapat ζ sebagai luas wilayah pada fungsi $f(x,y)$, dan $(p+q)$ adalah derajat dari persamaan matematika yang digunakan [Mukundan 1998], maka fungsi momen dapat diartikan sebagai volume dari bidang dimensi 3 yang dibentuk oleh persamaan polinomial yang diproyeksikan kepada bidang citra. Secara matematika, momen dapat disimbolkan menjadi persamaan di bawah ini

$$\Phi_{pq} = \iint \psi_{pq}(x,y)f(x,y) dx dy, \quad (2.1)$$

dimana $\psi_{pq}(x,y)$ adalah suatu fungsi matematika berderajat pq yang diproyeksikan pada titik (x,y) di bidang citra. Untuk posisi piksel yang didefinisikan menggunakan koordinat polar $f(r,\theta)$, persamaan tersebut dapat menjadi

$$\Phi_{pq} = \iint r^{p+q+1} \psi_{pq}(r,\theta)f(r,\theta) dr d\theta. \quad (2.2)$$

Begitu banyak penelitian yang telah dilakukan, sehingga saat ini telah kita temukan beragam fungsi momen dalam analisa citra. L.Kotoluas dan I.Andreadis melakukan analisa terhadap fungsi-fungsi momen yang ada, dapat dilihat pada tabel 2.1. Meskipun kompleksitas momen Zernike tinggi, tetapi ketepatan hasil citra rekonstruksi yang tinggi dan sifat momen Zernike yang invarian terhadap

rotasi menjadi alasan pemilihan momen Zernike sebagai metode ekstraksi ciri citra gigi. Kebutuhan akan metode yang bersifat invariant terhadap rotasi dikarenakan proses pengambilan citra gigi *postmortem* dapat mengalami perubahan sudut yang berbeda-beda dengan citra gigi *entomortem*.

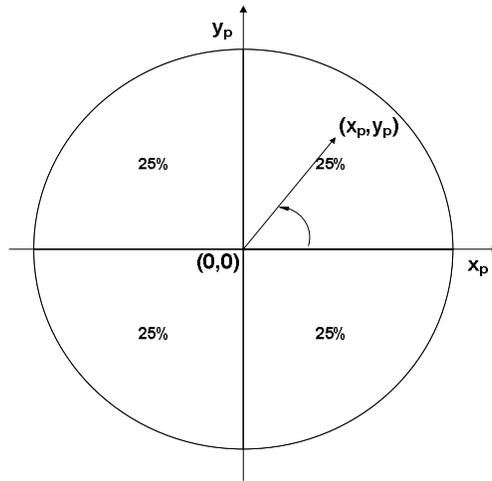
Tabel 2.1 Analisa Perbandingan Jenis-jenis Fungsi Momen

| Jenis Momen | Sensitivitas terhadap Gangguan | Kompleksitas Komputasi | Ketepatan Rekonstruksi | Invariant |
|-------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| Geometric | Tinggi | Rendah | - | Tidak |
| Complex | Tinggi | Rendah | - | Iya |
| Legendre | Rendah | Tinggi | Sedang | Iya |
| Zernike | Rendah | Sangat Tinggi | Tinggi | Iya |
| Tchebichef | Rendah | Sedang | Sangat Tinggi | Tidak |
| Hahn | Rendah | Sedang | Sangat Tinggi | Tidak |

Sumber : [Kotoulas 1998]

2.1.2 Polinomial Zernike

Pada tahun 1934, Fritz Zernike memperkenalkan polinomial Zernike sebagai persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan data *wavefront* pada kasus optikal. Persamaan ini terdiri dari *complete set* dari dua variable ρ dan θ , dan hanya ortogonal pada setiap garis yang terbentuk pada unit lingkaran. Dimana garis-garis tersebut berada pada daerah dengan batasan $\rho \leq 1$ dan $0 \leq \theta \leq 2\pi$ [Weisstein].



Gambar 2.1 Batas Persamaan Polinomial Zernike

Polinomial Zernike dibagi menjadi fungsi ganjil dan fungsi genap, Kedua persamaan polinomial zernike tersebut didefinisikan sebagai berikut

$$U_p^q(\rho, \theta) = \begin{cases} R_p^q(\rho) \sin(q\theta) & \text{Untuk fungsi genap} \\ R_p^q(\rho) \cos(q\theta) & \text{untuk fungsi ganjil} \end{cases}, \quad (2.3)$$

dimana untuk $p-q$ genap $R_p^q(\rho)$ sebagai nilai polinomial Zernike didefinisikan oleh persamaan berikut ini

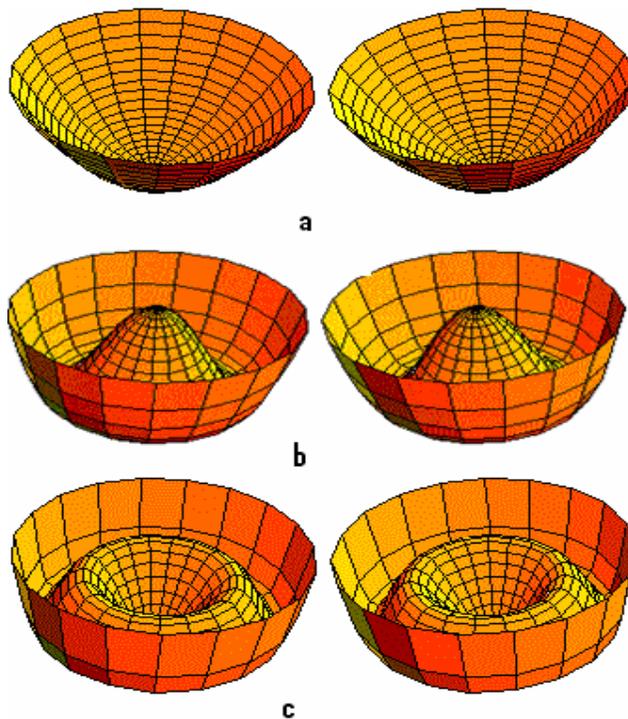
$$R_{pq}(\rho) = \sum_{s=0}^{p-|q|/2} (-1)^s \cdot \left(\frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n-2s+|m|}{2}\right)! \left(\frac{n-2s-|m|}{2}\right)!} \right) \rho^{n-2s}, \quad (2.4)$$

untuk $p-q$ ganjil, nilai $R_p^q(\rho)$ adalah 0 (nol). Contoh dari persamaan polinomial Zernike dapat dilihat pada tabel 2.2 dan bentuk grafik dari persamaan polinomial Zernike dapat dilihat pada gambar 2.2.

Tabel 2.2 Bentuk Persamaan Polinomial Zernike

| P | Q | Z | U |
|---|---|----|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | $P \cos(\theta)$ |
| 1 | 1 | 2 | $P \sin(\theta)$ |
| 1 | 0 | 3 | $-1 + 2\rho^2$ |
| 2 | 2 | 4 | $P^2 \cos(2\theta)$ |
| 2 | 2 | 5 | $P^2 \sin(2\theta)$ |
| 2 | 1 | 6 | $P(-2 + 3\rho^2) \cos(2\theta)$ |
| 2 | 1 | 7 | $P(-2 + 3\rho^2) \sin(2\theta)$ |
| 2 | 0 | 8 | $1 - 6\rho^2 + 6\rho^4$ |
| 3 | 3 | 9 | $P^3 \cos(3\theta)$ |
| 3 | 3 | 10 | $P^3 \sin(3\theta)$ |
| 3 | 2 | 11 | $P^2(-3 + 4\rho^2) \cos(2\theta)$ |
| 3 | 2 | 12 | $P^2(-3 + 4\rho^2) \sin(2\theta)$ |
| 3 | 1 | 13 | $P(3 - 12\rho^2 + 10\rho^4) \sin(\theta)$ |
| 3 | 1 | 14 | $P(3 - 12\rho^2 + 10\rho^4) \cos(\theta)$ |
| 3 | 0 | 15 | $-1 + 12\rho^2 - 30\rho^4 + 20\rho^6$ |

Sumber : [Goodwin. 2006], sudah diolah.



Gambar 2.2 Bentuk 3 Dimensi dari Polinomial Zernike, Gambar a untuk Persamaan $-1 + 2\rho^2$, Gambar b untuk Persamaan $1 - 6\rho^2 + 6\rho^4$, Gambar c untuk persamaan $-1 + 12\rho^2 - 30\rho^4 + 20\rho^6$

Sumber : [Goodwin. 2006], sudah diolah.

2.1.3 Momen Zernike

Momen Zernike pertama kali diperkenalkan oleh Teague pada tahun 1992. Momen Zernike diambil dari persamaan polinomial Zernike [Mukundan 1998]. Sebagai pengkode ciri citra, momen Zernike memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Tidak berpengaruh pada perubahan sudut citra, kelebihan ini didapat dari nilai magnitude momen Zernike.
2. Kuat, dalam hal pengenalan citra kembali ketika terdapat *noise* dan perubahan bentuk citra
3. Efisien, pada proses pengkodean ciri citra menggunakan momen Zernike, informasi yang sama hanya dikodekan sekali
4. Efektif, suatu citra dapat dikodekan dengan himpunan bilangan yang kecil.
5. Multi level representasi, semakin kecil derajat yang digunakan, maka informasi citra yang dikodekan semakin umum, sebaliknya semakin tinggi derajat momen Zernike yang digunakan informasi citra yang dikodekan akan semakin detail.

Momen Zernike dibentuk dari persamaan berikut ini

$$V_{pq}(x,y) = V_{pq}(\rho,\theta) = R_{pq}(\rho) \exp(jm\theta), \quad (2.5)$$

dimana, $R_{pq}(\rho)$ merupakan Zernike polinomial yang didapat dari persamaan (2.4). Karena nilai $R_{pq}(\rho) = R_{p,-q}(\rho)$ sehingga persamaan dibawah ini akan menjadi ortogonal dengan bentuk

$$A_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x,y) V_{pq}^*(\rho,\theta) dx dy, \quad (2.6)$$

dimana p adalah derajat dari polinomial Zernike dengan kondisi p bilangan positif integer, q adalah pengulangan yang dilakukan dengan kondisi $|q| \leq p$, ρ adalah panjang vektor yang terbentuk dari bidang (x,y) , θ adalah sudut yang dibentuk oleh vektor ρ dengan bidang x dengan arah jarum jam, dan A_{pq} adalah anggota

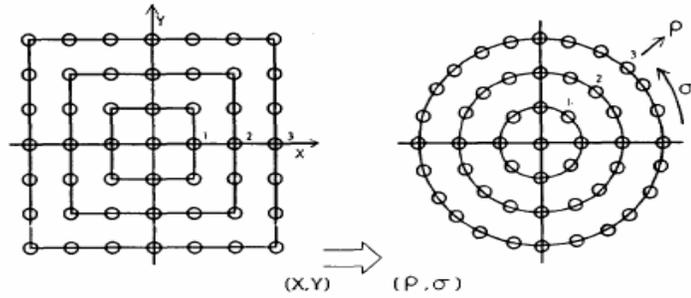
himpunan bilangan kompleks. Untuk koordinat polar, persamaan (2.5) dapat dibentuk menjadi

$$A_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \int_0^1 \int_{-\pi}^{\pi} R_{pq}(r) e^{-jm\theta} f(r,\theta) r dr d\theta, \quad (2.7)$$

dimana nilai $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\theta = \tan^{-1}(x/y)$, dan $-1 < x, y < 1$.

Besarnya nilai p (derajat polinomial) mempengaruhi tingkat informasi ciri citra yang mampu dikodekan oleh momen Zernike. Semakin tinggi nilai p akan semakin detil informasi ciri citra yang akan disimpan. Akan tetapi, kita tidak dapat menentukan nilai p yang baik untuk mendapatkan nilai momen Zernike yang mampu di rekonstruksi mendekati citra yang asli [Mukundan 1998]. Penentuan nilai optimum p dilakukan dengan cara membandingkan hasil citra rekonstruksi momen Zernike dengan citra asli. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan jarak *Hamming*, dimana perbedaan ini akan dilihat dari perbedaan intensitas piksel masing-masing citra. Proses penentuan nilai p optimum akan dibahas pada subbab tersendiri.

R. Mukundan dan K.R Ramakrishnan melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja dari momen Zernike dengan cara mentransformasikan bentuk $f(x,y)$ kedalam bentuk $f(\rho,\sigma)$ (dapat dilihat pada gambar 2.3) [Mukundan 1998]. Penggunaan koordinat polar pada citra bertujuan untuk mengurangi kompleksitas perhitungan momen Zernike. Karena polinomial Zernike dibentuk menggunakan koordinat polar, sehingga transformasi seperti ini menjadikan perhitungan momen Zernike dapat dilakukan hanya sekali untuk semua koordinat yang dipetakan pada lingkaran yang sama. Perhitungan ini berlaku untuk citra biner dan citra abu-abu.



Gambar 2.3 Transformasi $f(x,y)$ ke $f(\rho,\sigma)$ [Mukundan 1998]

Sumber [Mukundan 1998]

Transformasi koordinat kartesian citra kedalam bentuk koordinat polar mengikuti kaidah sebagai berikut

$$\rho = \max(|x|, |y|), \quad (2.8)$$

$$\sigma = \begin{cases} 2(\rho - x) \frac{y}{|y|} + \frac{XY}{\rho} & \text{untuk } \rho = |x| \\ 2y - \frac{xy}{\rho} & \text{untuk } \rho = |y| \end{cases}, \quad (2.9)$$

karena persamaan diatas berlaku *invertible* dan *one to one*, maka berlaku $f(x,y) = f(\rho,\sigma)$. Jika N adalah ukuran piksel dari citra, batasan koordinat yang digunakan menjadi

$$-N/2 \leq x, y \leq N/2; \quad 0 \leq \rho \leq N/2; \quad 1 \leq \sigma \leq 8\rho; \quad (2.10)$$

dan normalisasi untuk bentuk $f(\rho,\sigma)$ ke bentuk $f(r,\theta)$, ditentukan dengan aturan bahwa $r = 2\rho/N$ dan $\theta = \pi\sigma/4\rho$ sehingga

$$dr = 2/N; \quad d\theta = \pi/(4\rho); \quad r dr d\theta = \pi/N^2 \quad (2.11)$$

Pengurangan kompleksitas perhitungan momen Zernike juga dilakukan dengan cara menggabungkan momen dengan kompleksitas rendah salah satunya

adalah momen Geometrik dan momen Radial [Al-Rawi 2007]. Dengan mengganti $(p-2s)$ menjadi variabel k , maka persamaan (2.4) dapat diubah menjadi

$$R_{pq}(\rho) = \sum_{k=q}^p B_{pq} \rho^k, \quad (2.12)$$

dimana

$$B_{pq} = \frac{(-1)^{(p-k)/2} \left(\frac{p+k}{2}\right)!}{\left(\frac{p-k}{2}\right)! \left(\frac{k+q}{2}\right)! \left(\frac{k-q}{2}\right)!}, \quad (2.13)$$

dengan kondisi nilai $q \geq 0$ dan $p-k$ adalah bilangan genap.

Dengan menggabungkan persamaan (2.13) dengan momen Radial, maka nilai momen Zernike dapat dihitung dengan persamaan

$$A_{pq} = \sum_{k=q}^p B_{pqk} \int_{r=0}^{\infty} \int_{\theta=0}^{2\pi} r^k e^{-im\theta} g(r, \theta) dr d\theta, \quad (2.14)$$

dengan menggabungkan persamaan (2.7) dan (2.13) didapat

$$A_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_{k=q}^p B_{pqk} \int_{r=0}^{\infty} \int_{\theta=0}^{2\pi} r^k e^{-im\theta} f(r, \theta) r dr d\theta. \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 jika diubah kedalam bentuk kartesian akan menjadi

$$A_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_{k=q}^p B_{pqk} \iint_{x,y} (x-y)^q (x^2 + y^2)^{\frac{(k-q)}{2}} f(x, y) dx dy. \quad (2.16)$$

Persamaan integral pada persamaan (2.16) merupakan bentuk persamaan dari momen Geometrik, sehingga dari persamaan (2.16) kita dapat menarik

kesimpulan hubungan antara momen Zernike dan momen Geometrik (m_{pq}) dalam bentuk

$$A_{00} = (1/\pi) m_{00},$$

$$A_{11} = (2/\pi)(m_{10} - i m_{01}),$$

$$A_{20} = (6/\pi)(m_{20} + m_{02}) - (3/\pi) m_{00},$$

$$A_{22} = (3/\pi)(m_{20} - m_{02} - 2i m_{11}),$$

$$A_{31} = (12/\pi)(m_{30} + m_{12}) - (12/\pi)i (m_{03} + m_{21}) - (8/\pi)(m_{10} - i m_{01}),$$

$$A_{33} = (4/\pi)(m_{30} - 3m_{12}) + (4/\pi)i (m_{03} + 3m_{21}),$$

dimana hal diatas hanya berlaku jika koordinat piksel yang digunakan untuk momen Geometrik berada pada kisaran [-1,1].

Selain digunakan dalam menghitung moment Zernike, momen Geometrik juga digunakan dalam mengurangi sensitivitas momen Zernike terhadap *noise* suatu gambar [Bin 2002]. Seperti diketahui bahwa nilai m_{00} (momen Geometrik) untuk derajat nol adalah deskriptor global semua area citra, sehingga pembagian nilai momen Zernike dengan nilai momen Geometrik pada derajat 0 adalah menghilangkan sensitivitas momen Zernike, sehingga persamaan tersebut menjadi

$$A_{pq}^1 = \frac{A_{pq}}{m_{00}}, \quad (2.17)$$

dimana A_{pq}^1 merupakan nilai yang diperoleh dari persamaan (2.6) atau (2.7). Pada aplikasi yang akan dikembangkan menggunakan persamaan (2.7).

2.1.4 Derajat Zernike Momen

Pengaruh besaran nilai derajat polinomial telah diteliti sebelumnya oleh Alireza K dan Yaw Hua pada tahun 1990 [Khotanzad 1989]. Penelitian ini dimulai dengan melakukan rekonstruksi citra dari nilai momen Zernike dengan derajat tertentu. Rekonstruksi dimulai secara iterasi bertahap dari derajat 1 ke p . Pada gambar 2.4 dapat dilihat perbandingan citra asli E dan F dengan hasil citra rekonstruksi dari derajat 1 sampai 11.



Gambar 2.4 Citra Rekonstruksi

Sumber [Khotanzad 1989]

Pada penelitian yang dilakukan, citra yang digunakan adalah citra biner, pencarian optimal derajat momen Zernike dilakukan dengan membandingkan citra hasil rekonstruksi dengan citra asli. Perbandingan ini dilakukan secara iterasi dimulai dari momen Zernike dengan derajat 1 sampai ke p . Karena citra hasil rekonstruksi adalah citra abu-abu, maka citra hasil rekonstruksi akan dikonversi menjadi citra biner.

Derajat kemiripan citra asli dengan citra hasil rekonstruksi dihitung dengan menggunakan jarak *Hamming* $H(\hat{f}_i, f)$, dimana \hat{f}_i adalah citra hasil rekonstruksi dari momen Zernike dengan derajat i , dan f adalah citra asli. Jarak *Hamming* menghitung jumlah piksel yang berbeda antara citra asli dan citra hasil rekonstruksi.

Karena masing-masing derajat momen melakukan ekstraksi ciri citra yang dapat saja berbeda-beda, maka dilakukan penilaian besarnya kontribusi masing-masing derajat momen terhadap ciri citra yang berhasil di ekstraksi dengan mencari selisih nilai $H(\hat{f}_i, f)$ dan $H(\hat{f}_{i-1}, f)$ yang dinotasikan dengan $C(i)$, di hitung dengan persamaan berikut

$$C(i) = H(\hat{f}_{i-1}, f) - H(\hat{f}_i, f), \quad (2.18)$$

semakin besar nilai $C(i)$ menunjukkan semakin besar kontribusi yang diberikan oleh momen Zernike derajat i dalam mengekstraksi ciri citra. Kecilnya nilai mutlak dari $C(i)$ juga menandakan besarnya relasi ciri yang di ekstrak pada derajat momen yang digunakan. Hal ini membuat kita dapat memberikan bobot kepada setiap $C(i)$, bobot (w_i) ini dapat diasumsikan sebagai nilai jumlah ciri yang telah di ekstraksi, dimana nilai w_i dapat di hitung menggunakan persamaan berikut

$$w_i = \frac{C(i)}{D(n^*)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2.19)$$

dimana, $D(n^*) = \sum_{j=1, C(j) \geq 0}^{n^*} C(j)$. Nilai w_i akan bernilai nol untuk $C(i)$ negatif.

Optimal derajat momen Zernike didapat jika jumlah dari w_i mencapai nilai 1.

Pendekatan seperti ini dapat juga digunakan untuk citra abu-abu dengan cara mangganti metode pencarian derajat kesamaan citra asli dengan citra rekonstruksi. Metode ini akan digunakan sebagai metode pembanding dari metode yang diajukan dalam penelitian ini.

2.2 Logika Fuzzy

Secara umum, dalam keseharian terdapat hal-hal yang bisa kita kelompokkan dengan pasti dalam satu himpunan. Misal, terdapat 2 himpunan yaitu kelompok gigi geraham (G) dan kelompok gigi seri (S). Gigi-gigi depan atas dan bawah akan memiliki nilai keanggotaan 1 (*true*) pada himpunan kelompok gigi seri (S) dan nilai keanggotaan 0 (*false*) pada himpunan kelompok gigi geraham (G). Sementara gigi belakang kanan, gigi belakang kiri atas dan bawah adalah contoh gigi dengan nilai keanggotaan 0 (*false*) pada himpunan S, dan nilai keanggotaan 1 (*true*) pada himpunan G.

Tetapi, tidak semua hal-hal dalam kehidupan sehari-hari dapat kita kelompokkan secara jelas seperti contoh diatas. Contoh, ketika kita melakukan pengelompokan terhadap kondisi gigi manusia dalam suatu komunitas, kita membagi menjadi kelompok gigi rusak (R) dan kelompok gigi baik (B). Untuk

orang dengan kondisi gigi tidak ada yang tanggal dan tidak ada yang berlubang, kita dapat secara sepakat mengatakan bahwa kondisi gigi orang tersebut adalah benar baik, tetapi untuk orang dengan kondisi satu gigi tanggal tetapi tidak ada gigi yang berlubang, beberapa orang akan mengatakan gigi tersebut dalam kondisi yang cukup baik. Untuk hal-hal yang tidak pasti dalam menentukan nilai keanggotaannya secara benar dan salah seperti pengelompokan kondisi gigi, maka permasalahan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan logika fuzzy.

Lotfi A. Zadeh pertama kali memperkenalkan logika fuzzy untuk solusi dari permasalahan-permasalahan ketidak pastian seperti contoh diatas. L. A. Zadeh mendefinisikan bahwa suatu himpunan fuzzy adalah suatu himpunan A dimana setiap keanggotaannya terdefinisi oleh suatu fungsi $f_A(x)$ yang berasosiasi pada suatu nilai [0 1], dimana nilai tersebut menyatakan derajat keanggotaan dari anggota himpunan tersebut [Zadeh 1965].

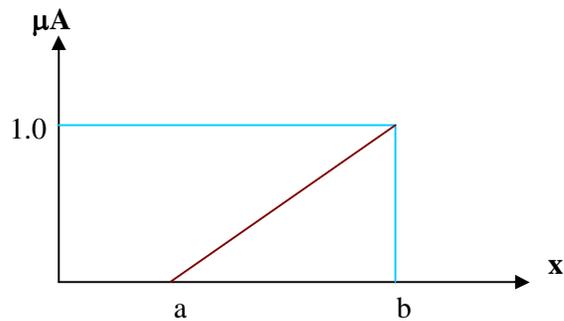
Sebagai contoh, pada kasus pengelompokan kondisi gigi orang dapat dilihat pada tabel 2.3. Terdapat dua kelompok kondisi gigi orang yaitu baik (B) dan rusak (R), maka dalam logika fuzzy baik dan rusak disebut sebagai himpunan fuzzy. Jumlah gigi tanggal dan berlubang yang tertera pada kolom gigi disebut sebagai anggota himpunan. Dalam kehidupan sehari-hari, berdasarkan tabel 2.3 kita dapat menyatakan bahwa kondisi gigi Aji baik, kondisi gigi Budi agak baik, kondisi gigi Cici agak sedikit baik, kondisi gigi Dewi agak rusak, kondisi gigi Edi agak baik, dan kondisi gigi Fivi rusak.

Tabel 2.3 Contoh Kasus Fungsi Keanggotaan

| Individu | Kondisi Gigi | Nilai Keanggotaan | |
|----------|--------------------------------------|-------------------|----------|
| | | Baik (B) | Rusak(R) |
| Aji | Tidak ada yang berlubang dan tanggal | 1 | 0 |
| Budi | 1 gigi tanggal | 0.8 | 0.3 |
| Cici | 2 gigi berlubang | 0.58 | 0.42 |
| Dewi | 3 gigi tanggal | 0.4 | 0.6 |
| Edi | 1 gigi tanggal | 0.81 | 0.19 |
| Fivi | 1 gigi tanggal dan 4 gigi berlubang | 0 | 1 |

Nilai keanggotaan yang dimiliki diperoleh berdasarkan fungsi pemetaan yang dikenakan kepada tinggi badan tiap individu terhadap himpunan B dan R. Dalam logika fuzzy, fungsi ini disebut fungsi keanggotaan (μ_A). Fungsi keanggotaan memberikan batas keanggotaan suatu himpunan sehingga masing-masing himpunan akan memiliki fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan juga dapat digambarkan dalam suatu bentuk kurva. Berikut ini adalah contoh-contoh fungsi keanggotaan berdasarkan kurva yang terbentuk :

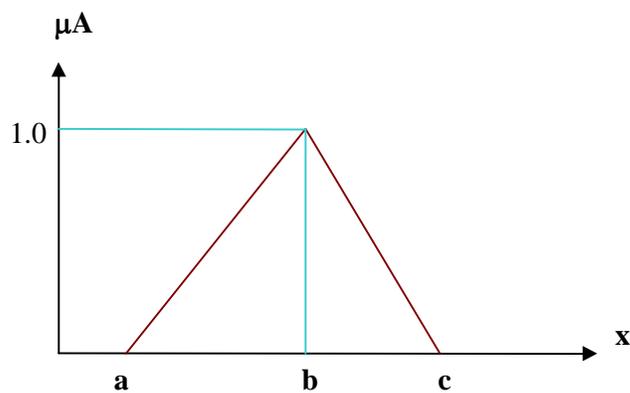
1. Fungsi Linier



Parameter fungsi linier:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a, \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b, \\ 1 & x > b, \end{cases} \quad (2.20)$$

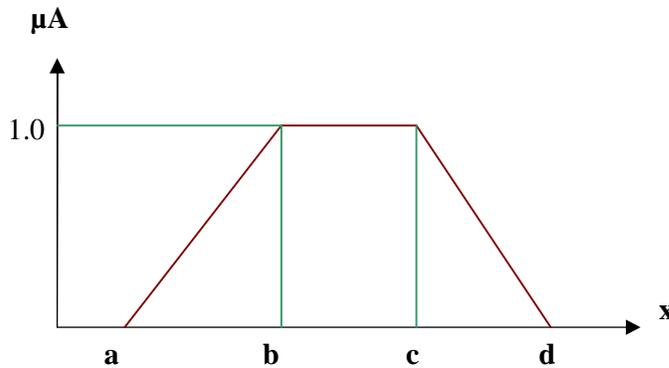
2. Fungsi Segitiga



Parameter fungsi segitiga:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ dan } x \geq c, \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b, \\ (c-x)/(b-c) & b < x < c, \\ 1 & x = b, \end{cases} \quad (2.21)$$

3. Fungsi Trapesoidal



Parameter fungsi trapesoidal:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a, \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b, \\ 1 & b \leq x \leq c, \\ (d-x)/(d-c) & c < x < d, \\ 0 & x \geq d, \end{cases} \quad (2.22)$$

2.2.1 Sistem Inferensi Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy adalah suatu proses yang diformulasikan untuk memetakan suatu masukan ke suatu bentuk keluaran dengan menggunakan logika fuzzy, proses ini melibatkan 3 hal yaitu himpunan fuzzy, operator logika, dan aturan *if* dan *then* [Lee 2004].

Terdapat beberapa metode fuzzy inference system yang dapat digunakan, yaitu metode Mamdani, metode Larsen, metode Tsukamoto, dan metode TSK. Pada tesis ini akan digunakan metode Mamdani. Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, menggunakan operator minimum, dan R_c sebagai fuzzy implikasinya. Dimana $R_c = A \times B$ adalah

$\int \mu_A(t) \wedge \mu_B(h) / (t, h)$ untuk t adalah fungsi keanggotaan untuk variabel masukan, dan h adalah fungsi keanggotaan untuk variabel keluaran [Lee 2004].

Penggunaan aturan *if* dan *then* pada metode Mamdani di formulasikan dalam bentuk sebagai berikut ini :

R_i : jika u adalah A_i dan v adalah B_i maka w adalah C_i ,

dimana $i = 1, 2, 3, \dots, n$

untuk $u \in U, v \in V, \text{ dan } w \in W,$

untuk $R_i = (A_i \text{ and } B_i) \rightarrow C_i$ di definikan sebagai

$\mu R_i = \mu(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i) (u, v, w),$

R_i adalah aturan ke i , dimana dalam suatu proses dapat terdiri dari banyak aturan. Jika A dan B dan variabel masukan himpunan fuzzy, maka A_i dan B_i adalah himpunan fuzzy ke i , dan untuk u, v , dan w adalah anggota himpunan semesta.

Penggunaan logika fuzzy Mamdani telah banyak diterapkan pada berbagai aplikasi. Lai dan Lin pada penelitiannya menggunakan logika fuzzy Mamdani pada proses segmentasi citra gigi. Sebelum dilakukan segmentasi yang memisahkan gigi dengan gusi, dilakukan proses perbaikan citra gigi. Proses perbaikan citra gigi dilakukan dengan menggunakan perhitungan homogenitas suatu piksel terhadap area lokal yang menjadi RoI (*region of interest*), tujuan perbaikan citra untuk mempertajam perbedaan daerah gigi dan non gigi [Lai 2008].

Proses segmentasi dilakukan untuk memisahkan area gigi, gusi dan latar belakang. Nilai *entropy*, *edge-value*, *intensity*, *tooth-distance*, *gum-distance*, dan *background distance* menjadi variable masukan dari fuzzy Mamdani, sementara himpunan keluaran adalah *teeth*, *gum*, dan *background*. Masing-masing variable terdiri dari himpunan LOW, MEDIUM, dan HIGH.

Nilai *entropy* adalah derajat ketidak pastian suatu informasi dari variabel bebas yang dimiliki oleh suatu area lokal, dalam hal ini variabel bebas tersebut berkisar pada nilai dari 0 – 255. Nilai *edge value* di definisikan sebagai jumlah *edge* yang dimiliki dari suatu area lokal. Sementara *tooth-distance*, *gum-distance*, dan *background-distance* di dapat dari nilai *k-means clustering* dari wilayah gigi, gusi dan latar belakang.

Pada penelitian kali ini penggunaan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan derajat polinomial optimal dengan menggunakan beberapa perhitungan statistika sebagai variabel input.

2.3 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi banyak digunakan dalam penelitian yang bersifat analisa kuantitatif. Dua hal dapat dikatakan berhubungan jika dilakukan perubahan yang sama pada kedua hal tersebut tetap memiliki arah perubahan yang sama. Contoh, pada analisa pertumbuhan anak, hal yang akan dibandingkan adalah faktor usia dan tinggi badan. Ketika usia anak bertambah, maka tinggi badan anak pun akan bertambah. Dengan kata lain, ketika magnitudo perubahan data tinggi kearah positif, maka perubahan data usia juga memiliki nilai magnitudo positif. Pada kasus ini, tinggi badan dan usia anak dikatakan berkorelasi secara positif.

Lain halnya ketika magnitudo perubahan variabel satu bernilai positif, sementara variabel lainnya negatif, maka korelasi kedua variabel tersebut bernilai negatif. Koefisien korelasi dapat didefinisikan sebagai jumlah perkalian produk dari kovarian 2 objek tersebut dibagi dengan akar kuadrat dari perkalian produk jumlah selisih kuadrat elamen objek terhadap rata-rata [Evans 1992]. Persamaan koefisien korelasi didefinisikan sebagai berikut :

$$CC(A, B) = \frac{\sum (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{(\sum (A_i - \bar{A})^2)(\sum (B_i - \bar{B})^2)}} \quad (2.23)$$

Adapun karakteristik dari koefisien korelasi adalah :

1. Kisaran nilai koefisien korelasi adalah [-1 1], dimana nilai negatif menunjukkan kedua variabel berkorelasi secara negatif, dan nilai positif menunjukkan kedua variabel berkorelasi secara positif.
2. Nilai 0 (nol) untuk koefisien korelasi menunjukkan tidak ada hubungan antar kedua variabel, secara statistika kedua variabel tersebut independen (tidak saling berhubungan)

P Ramprasad melakukan penelitian menggunakan koefisien korelasi dalam proses penemuan kembali citra gigi yang telah mengalami rotasi. Suatu citra gigi di rotasi menggunakan transformasi Affine dengan Θ^0 , kemudian koefisien korelasi digunakan untuk menghitung derajat kemiripan citra gigi setelah dirotasi dengan sebelum dirotasi [Ramprasad 2008].

P Ramprasad berhasil menunjukkan bahwa koefisien korelasi dapat digunakan pada proses pencarian kembali citra gigi yang telah mengalami rotasi. Pada penelitian kali ini koefisien korelasi sebagai analisa perhitungan dalam mencari derajat kemiripan citra hasil rekonstruksi dengan citra asli.

2.4 Jarak Euclidean

Jarak Euclidean adalah jarak terpendek yang dimiliki oleh dua buah titik, jika terdapat titik A dengan koordinat (x_1, y_1) dan titik B dengan koordinat (x_2, y_2) , maka jarak Euclidean kedua titik tersebut di cari dengan persamaan berikut ini

$$d(A, B) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (2.24)$$

ketika titik A dan B adalah vektor dengan n komponen dimana $A = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ dan $B = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ maka jarak Euclidean dari dua titik tersebut dapat dicari dengan persamaan

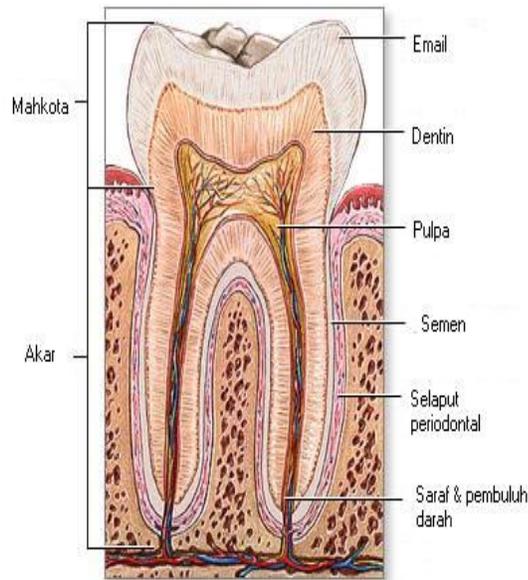
$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (p_i - q_i)^2}, \quad (2.25)$$

persamaan dalam mencari jarak Euclidean dua titik terbentuk dengan menggunakan prinsip-prinsip teori pitagoras [Evans 1992].

Jarak Euclidean digunakan untuk menentukan derajat kemiripan dari citra hasil rekonstruksi dengan citra asli pada proses optimalisasi momen Zernike dan pencarian citra *entemortem* pada proses *image matching*. Pada proses pencarian citra *entemortem*, masing-masing citra akan di cari jarak Euclidean-nya dengan

citra *postmortem* kemudian jarak minimal yang diperoleh menunjukkan bawah kedua citra tersebut merupakan citra yang sama.

2.5 Citra Gigi



Gambar 2.5 Struktur Gigi Tunggal

Sumber [Anonymous 2006]

Struktur gigi manusia terdiri dari beberapa lapisan penyusun gigi, di antaranya email, dentin, pulpa, semen, selaput periodontal, dan syaraf. Email merupakan bagian lapisan yang menyelimuti mahkota gigi. Terbentuk dari jaringan yang disebut ectoderm ketika janin terbentuk, ketebalan lapisan ini berbeda-beda berdasarkan jenis gigi dan posisi. Email merupakan jaringan terkeras dari seluruh jaringan yang ada pada tubuh manusia, merupakan lapisan keabu-abuan yang sehingga warna gigi seseorang bergantung pada ketebalan email dan lapisan yang berada dibawah email [Hey 2001].

Dentin adalah jaringan gigi yang berada dibawah email, tersusun dari sel-sel yang disebut *odontoblasts*, dibentuk sebelum proses pembentukan email pada embrio. Dentin menyelimuti seluruh bagian gigi, dari mahkota sampai akar gigi. Pada bagian mahkota, dentin ditutup oleh email, pada bagian akar, dentin ditutup

oleh semen. Tidak seperti lapisan email, lapisan ini akan terus terbentuk meskipun gigi telah mengalami erupsi [Hey 2001].

Pulpa merupakan jaringan yang dilindungi oleh dentin, terbentuk dari jaringan yang sama dengan dentin. Secara posisi pulpa terdiri dari 2 bagian yaitu, pulpa *coronal* yang berada pada mahkota gigi, dan pulpa *radicular* yang berada pada akar gigi. Bagian tengah pulpa terdiri dari pembuluh darah dan jaringan syaraf. Pulpa berperan dalam fungsi pembangunan gigi, nutrisi gigi, sensor, dan perlindungan [Hey 2001].

Semen merupakan lapisan keras yang melindungi gigi pada bagian akar. Selaput periodontal terdiri dari jaringan keras dan lunak yang menunjang gigi. Terbagi atas dua bagian yaitu *gingival unit* dan *attachment apparatus*. kedua bagian ini memiliki peran penting dalam melindungi akar gigi [Hey 2001].

Dalam indentifikasi korban bencana menggunakan struktur gigi, proses identifikasi dilakukan dengan membandingkan struktur gigi entemortem dengan struktur gigi *postmortem*. Data *entemortem* berupa citra gigi x-ray baik panoramik, maupun tunggal. Jika citra gigi ini tidak tersedia, data *entemortem* dapat berupa data kesehatan perawatan gigi korban yang dimiliki oleh dokter gigi [Sweet 2010] .

BAB III

USULAN OPTIMALISASI MOMEN ZERNIKE MENGGUNAKAN SISTEM INFERENSI FUZZY

3.1 Spesifikasi Pengembangan

3.1.1 Perangkat Lunak

Aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman matlab 7.6.0 (R2008a) sebagai bahasa yang digunakan untuk membuat metode yang diajukan, microsoft visual studio 2008 C# sebagai IDE untuk *user interface*, dan XML sebagai format *file* penyimpanan data citra ekstraksi.

Sementara sistem operasi yang digunakan pada proses pengembangan dan pelaksanaan uji coba adalah Windows XP SP 3 Professional Edition

3.1.2 Perangkat Keras

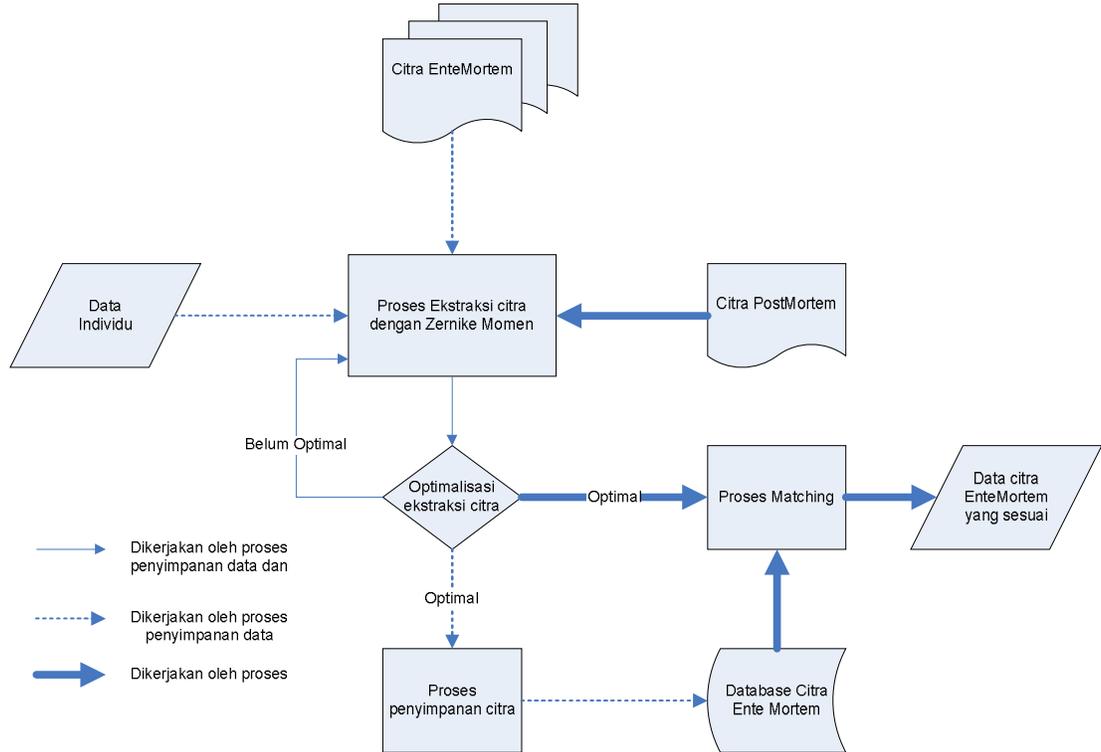
Pengembangan aplikasi dan uji coba yang dilakukan pada aplikasi ini berjalan pada mesin *notebook* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Prosesor : Genuine Intel(R) CPU T2130 @ 1.86GHz (2 CPUs)
- Memori : 3GB DDR2 PC-5300
- Harddisk: 120 GB

3.2 Arsitektur Sistem

Secara keseluruhan, sistem pengenalan citra ini terdiri dari 2 (dua) proses besar, yaitu proses penyimpanan data citra gigi dan proses pencarian data citra gigi. Proses penyimpanan data citra gigi adalah proses mengekstrak ciri citra gigi *entemortem* kemudian hasil ekstraksi ciri tersebut akan disimpan kedalam *database*. Proses pencarian data citra gigi adalah proses mencari citra gigi *postmortem* yang bersesuaian dengan citra gigi *entemortem* yang ada pada *database*.

Masing-masing proses melalui tahapan ekstraksi ciri citra menggunakan momen Zernike, dan tahapan optimalisasi momen Zernike. Nilai dari momen Zernike yang dihasilkan dari proses ekstraksi akan digunakan dalam proses membandingkan citra gigi *entemortem* dan citra gigi *postmortem*. Gambar 3.1 adalah disain proses sistem secara keseluruhan.



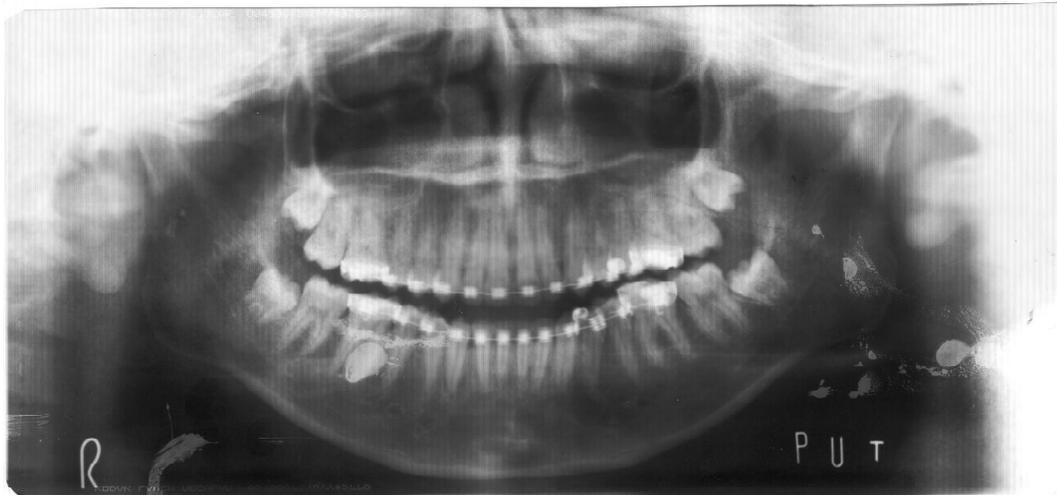
Gambar 3.1 Diagram Alur Sistem

3.3 Ekstraksi Citra

Citra gigi yang digunakan pada sistem ini adalah citra gigi abu-abu yang didapat dari hasil proses *scanning* citra gigi panoramik *x-ray*. Proses perubahan data gigi *x-ray* menjadi citra gigi panoramik menghasilkan file yang berukuran sangat besar yaitu 3508x1720 piksel, contoh file dapat dilihat pada gambar 3.2. Sistem secara otomatis akan mengubah citra gigi menjadi citra gigi abu-abu apabila tipe citra tidak sesuai dengan spesifikasi.

Metode ekstraksi yang digunakan adalah menggunakan momen Zernike. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab II, momen Zernike melakukan ekstraksi citra dengan membaca matriks citra secara koordinat polar, dimana hal ini mengharuskan ukuran citra masukan adalah $N \times N$. Pengguna yang memiliki citra masukan tidak berukuran $N \times N$, harus merubah ukuran citra masukan secara manual menjadi $N \times N$. Untuk kepentingan efisiensi penggunaan waktu komputasi

dalam mengekstrak ciri citra gigi, maka ukuran file citra gigi panoramik dibuat menjadi lebih kecil, yaitu 128x128 piksel (dapat dilihat pada gambar 3.3). Dari hasil uji coba, perubahan ukuran data ini tidak memberikan hasil yang berbeda dengan penggunaan citra gigi yang tidak mengalami perubahan ukuran



Gambar 3.2 Contoh Citra Gigi Berukuran 3508 x 1720 piksel

Perhitungan nilai momen Zernike dimulai dengan mengubah koordinat kartesius menjadi koordinat polar pada citra gigi. Setelah didapat nilai intensitas citra pada koordinat polar yang digunakan, akan dicari sudut yang akan digunakan pada perhitungan polinomial Zernike. Kemudian iterasi dilakukan dengan mencari polinomial zernike berdasarkan nilai p dan q menggunakan persamaan 2.3. Dimana p adalah derajat polinomial Zernike dan q adalah pengulangan dari derajat polinomial Zernike. Iterasi ini akan dilakukan dari $p = 0$ sampai p yang dimaksud (p besar nilai yang diberikan oleh pengguna), dan besarnya q adalah $0 \leq q \leq p$. Hasil dari polinomial Zernike yang didapat kemudian dikalikan dengan nilai intensitas citra pada koordinat polar yang telah ditentukan. Untuk lebih lengkap dapat dilihat pada algoritma momen Zernike gambar 3.3.

Momen Zernike pada proses ekstraksi ciri citra gigi menghasilkan nilai Zernike yang berupa vektor baris 1 dimensi dengan nilai kompleks (Znm), informasi pengulangan yang dilakukan untuk masing-masing derajat yaitu pengulangan genap dan ganjil berupa array 2 dimensi ($zmlist$), nilai polinomial

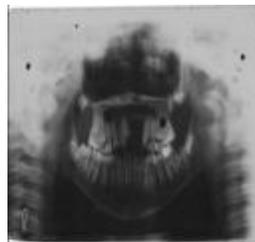
Zernike dari ukuran citra yang di ekstraksi berupa matriks $N \times M$ dari bilangan kompleks (V_{nm}), dan terakhir adalah posisi piksel pada lingkaran citra yang diekstraksi oleh momen Zernike, disimpan dalam bentuk array 1 dimensi. Semua nilai yang dihasilkan tersebut, diperlukan untuk proses pembentukan kembali citra gigi, sementara pada proses identifikasi citra gigi hanya membandingkan kedekatan nilai Zernike (Z_{nm}).

```

p = derajat polinomial;
q = pengulangan ;
c = 0;
For n = 1 until p
  For r=1 until q
    /* Gunakan persamaan 2.3 untuk menghitung Vr*/
    Vr(ρ,θ) = zernike polynomial
    Z[c] = A(ρ,θ) Vr(ρ,θ)
  End for
C++;
End for

```

Gambar 3.3 Contoh Citra Gigi Berukuran 3508 x 1720 piksel

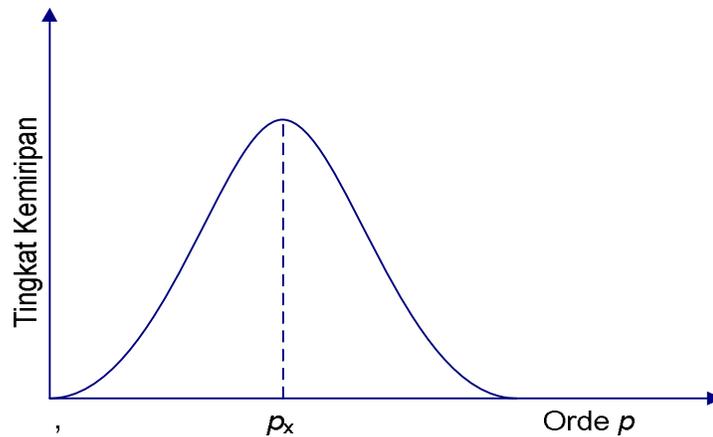


Gambar 3.4 Contoh Citra Gigi Masukan

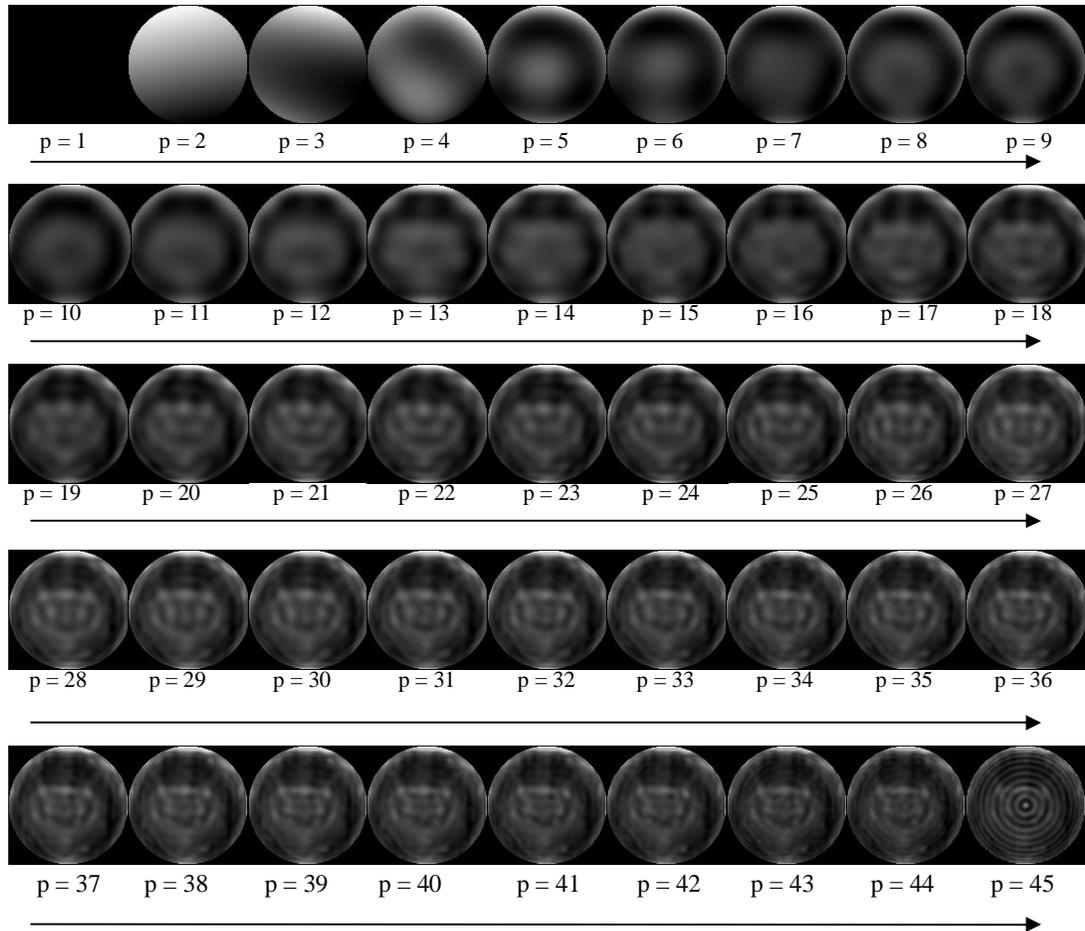
Gambar 3.4 adalah contoh citra gigi $N \times N$ yang menjadi input dari momen Zernike, gambar 3.6 adalah citra hasil rekonstruksi dari gambar 3.4, dengan perubahan derajat (p) polinomial Zernike dari $p = 1$ sampai $p = 45$. Pada gambar 3.6 dapat dilihat bahwa besarnya nilai p mempengaruhi kualitas ekstraksi ciri

citra. Semakin besar nilai p , maka semakin dekat kemiripan citra rekonstruksi dengan citra asli, berarti semakin banyak ciri citra yang berhasil di ekstraksi. Akan tetapi nilai p ini tidaklah bersifat tak hingga, ekstraksi ciri citra akan maksimum pada satu titik kemudian akan mengalami penurunan kembali untuk nilai p yang lebih besar. Semakin jeleknya kualitas citra gigi hasil rekonstruksi dengan p yang besar, dikarenakan semakin kompleks kurva polinomial yang digunakan. Ilustrasi penjelasan diatas dapat dilihat pada gambar 3.5.

Pada gambar 3.6 dari hasil pengamatan secara visual dapat disimpulkan bahwa nilai p maksimum berada pada kisaran $p \geq 15$ sampai $p \leq 45$. Maka, proses ekstraksi ciri citra gigi akan dilakukan secara iterasi dari nilai $p = 15$ sampai $p = 45$ atau sampai didapat nilai p optimum yang dapat mengekstraksi ciri citra gigi maksimum.



Gambar 3.5 Kurva Hubungan Orde Polinomial dengan Tingkat Kemiripan

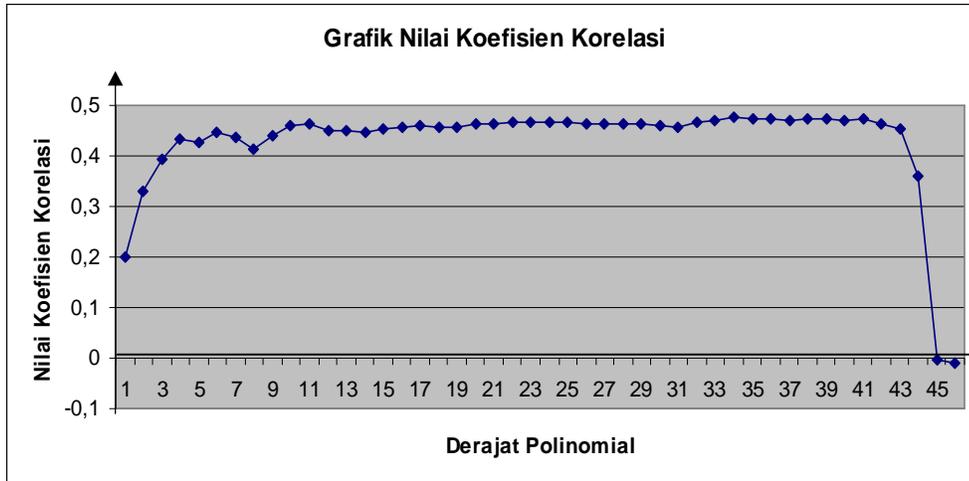


Gambar 3.6 Citra Hasil Rekonstruksi dari $p=0$ sampai $p=45$

3.4 Optimalisasi Ekstraksi Citra

Optimalisasi ekstraksi ciri citra dilakukan dengan cara membandingkan citra hasil rekonstruksi p_x dengan citra asli, kemudian dibandingkan lagi dengan hasil perbandingan citra rekonstruksi p_{x+1} dengan citra asli. Penilaian derajat kemiripan citra hasil rekonstruksi dengan citra asli dilakukan dengan menggunakan pendekatan *pixel base*.

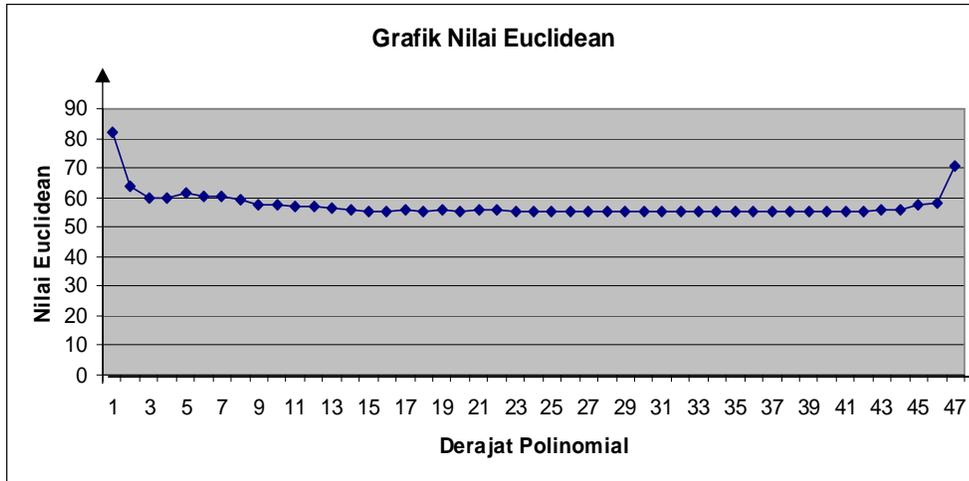
Beberapa pendekatan perhitungan statistik dilakukan untuk menghitung derajat kemiripan, diantaranya PSNR, koefisien korelasi, dan jarak Euclidean. Dari percobaan yang dilakukan koefisien korelasi dan jarak Euclidean yang dapat digunakan. Gambar 3.7 dan gambar 3.8 adalah grafik nilai koefisien korelasi dan jarak Euclidean dari citra rekonstruksi terhadap citra asli.



Gambar 3.7 Kurva Penggunaan Koefisien Korelasi Citra Asli dengan Citra Hasil Rekonstruksi

Gambar 3.7 memperlihatkan sifat yang sama dengan gambar 3.5. Kesamaan arah grafik ini menjadi dasar digunakannya koefisien korelasi dalam mencari nilai p optimum, semakin tinggi nilai koefisien korelasi semakin tinggi derajat kemiripan citra rekonstruksi dengan citra asli, dan ketika nilai koefisien korelasi cenderung turun maka, nilai p sebelumnya adalah nilai optimum dari derajat polinomial Zernike.

Gambar 3.8 memberikan sifat kebalikan dari gambar 3.5, semakin kecil nilai jarak Euclidean dari citra rekonstruksi terhadap citra asli semakin tinggi derajat kemiripan citra tersebut, dan ketika nilai jarak Euclidean menunjukkan perubahan nilai ke arah maksimal maka nilai p sebelumnya adalah nilai optimum dari derajat polinomial Zernike.

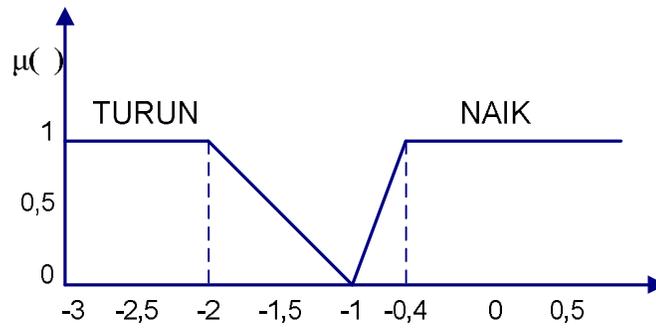


Gambar 3.8 Kurva Penggunaan jarak Euclidean Citra Asli dengan Citra Hasil Rekonstruksi

3.4.1 Sistem Inferensi Fuzzy Optimum Ekstraksi Ciri Citra

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan dalam mencari optimum derajat polinomial Zernike menggunakan sistem inferensi fuzzy Mamdani. Dimana variabel masukan didapat dari perhitungan koefisien korelasi dan jarak Euclidean (berdasarkan penjelasan pada sub bab sebelumnya).

Perhitungan koefisien korelasi didapat dengan menggunakan persamaan (2.23). Jika $Cc(Z_p)$ adalah nilai koefisien korelasi pada derajat ke p , dan $Cc(Z_{p+1})$ adalah nilai koefisien korelasi pada orde ke $p+1$, maka $S(q)$ adalah selisih kedua nilai tersebut dapat mengartikan apakah gerak grafik koefisien korelasi NAIK atau TURUN. Penalaran ini kemudian digunakan dalam pembuatan variabel masukan sistem fuzzy, dimana NAIK dan TURUN menjadi himpunan keanggotaan variabel selisih koefisien korelasi. Anggota himpunan NAIK memiliki kisaran nilai -1 sampai 1, sementara anggota himpunan TURUN memiliki kisaran nilai -3 sampai -1. Berikut adalah grafik fungsi keanggotaan variabel masukan selisih nilai koefisien korelasi dan persamaan garis yang dibentuk.



$$\mu_{(TURUN)} = \begin{cases} 1 & x < -2, \\ -x-1 & -2 \leq x \leq -1, \end{cases}$$

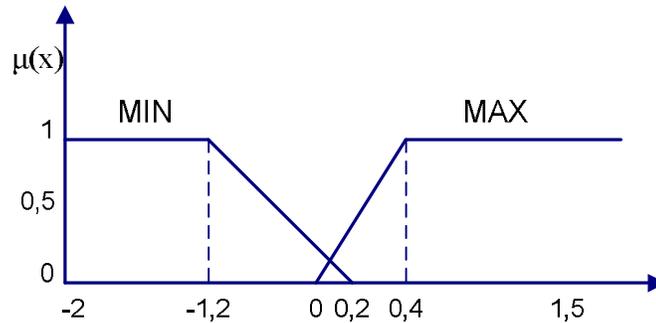
$$\mu_{(NAIK)} = \begin{cases} 1 & x > -0.4, \\ \frac{-2x-2}{3} & -1 \leq x \leq -0.4, \end{cases}$$

Gambar 3.9 Grafik dan Persamaan Garis Variabel SELISIH_CC

Jika masing-masing nilai selisih koefisien korelasi menunjukkan besarnya ciri citra yang berhasil di ekstraksi, maka $T(q)$ adalah total dari $S(q)$ menunjukkan jumlah ciri citra yang telah berhasil di-ekstraksi. Perhitungan ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T(q) = \sum_{q=1}^p S(q), \quad (3.1)$$

besarnya nilai $T(q)$ akan dikelompokkan pada nilai MAX (maksimum) dan MIN (minimum). MAX dan MIN menjadi himpunan keanggotaan pada variabel total selisih koefisien korelasi. Himpunan MAX mengindikasikan bahwa perubahan nilai koefisien korelasi terhadap perubahan nilai derajat polinomial masih cenderung naik, sementara himpunan MIN kebalikannya. Grafik fungsi persamaan variabel koefisien korelasi dapat dilihat pada gambar 3.10 berikut ini



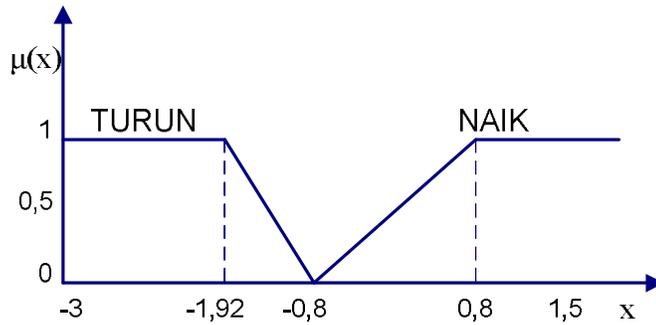
$$\mu_{(MIN)} = \begin{cases} 1 & x < -1.2 \\ \frac{1-5x}{7} & -1.2 \leq x \leq 0.2 \end{cases}$$

$$\mu_{(MAX)} = \begin{cases} 1 & x > 0.4 \\ \frac{5x}{2} & 0 \leq x \leq 0.4 \end{cases}$$

Gambar 3.10 Grafik dan Persamaan Garis Variabel TOTAL_CC

Hubungan dari kedua variabel diatas adalah, jika nilai selisih koefisien korelasi berada pada himpunan NAIK, dan jika nilai total selisih koefisien korelasi berada pada himpunan MAX maka iterasi yang dilakukan masih mengarah pada pencapaian titik p optimum, begitu juga sebaliknya. Logika ini akan digunakan dalam menentukan aturan dari sistem inferensi fuzzy.

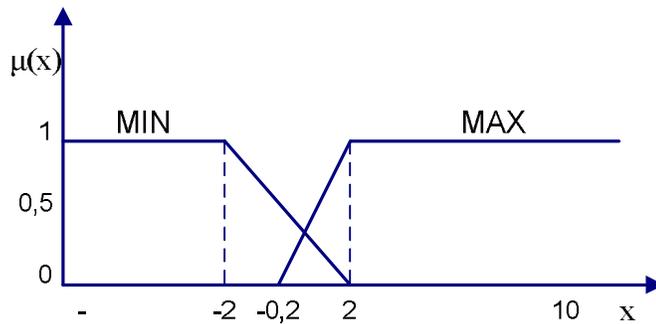
Perhitungan jarak Euclidean (norm) didapat dengan menggunakan persamaan (2.25). Seperti halnya pada penggunaan perhitungan koefisien korelasi, pendekatan perhitungan jarak Euclidean diberlakukan sama. Maka digunakan variabel selisih norm dan variabel total selisih norm sebagai variabel input pada sistem inferensi fuzzy. Nilai input untuk variabel selisih norm merupakan selisih nilai norm pada derajat i dan nilai norm pada derajat $i+1$. Sementara nilai untuk variabel total selisih norm didapat dari penjumlahan selisih norm pada awal iterasi sampai derajat p . Masing-masing grafik variabel dan persamaan garis dapat dilihat pada gambar 3.11 dan gambar 3.12 dibawah ini :



$$\mu_{(TURUN)} = \begin{cases} 1 & x < -1,92 \\ \frac{-x-0,1}{1,12} & -1,92 \leq x \leq -0,8 \end{cases}$$

$$\mu_{(NAIK)} = \begin{cases} 1 & x > 0,8 \\ \frac{5x+4}{8} & -0,8 \leq x \leq 0,8 \end{cases}$$

Gambar 3.11 Grafik dan Persamaan Garis Variabel SELISIH_NORM



$$\mu_{(MIN)} = \begin{cases} 1 & x < -2 \\ \frac{2-x}{4} & -2 \leq x \leq 2 \end{cases}$$

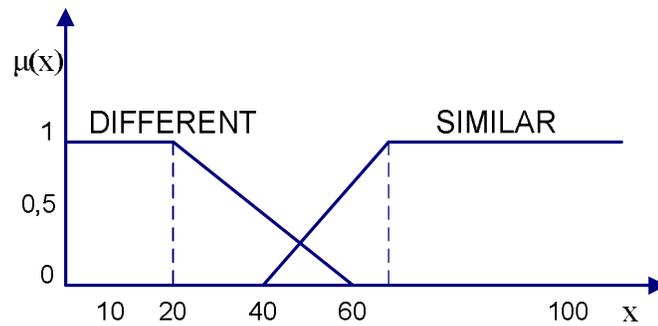
$$\mu_{(MAX)} = \begin{cases} 1 & x > 2 \\ \frac{x+0,2}{2,2} & -0,2 \leq x \leq 2 \end{cases}$$

Gambar 3.12 Grafik dan Persamaan Garis Variabel TOTAL_NORM

Hubungan dari kedua variabel diatas adalah, jika nilai selisih norm berada pada himpunan TURUN, dan jika nilai total selisih norm berada pada himpunan

MIN maka iterasi yang dilakukan masih mengarah pada pencapaian titik p optimum, begitu juga sebaliknya. Logika ini akan digunakan dalam menentukan aturan dari sistem inferensi fuzzy.

Variabel keluaran dari sistem inferensi fuzzy yang dibentuk berfungsi menentukan apakah citra hasil rekonstruksi SIMILAR atau DIFFERENT dengan citra asli. Perhitungan derajat kemiripan ini dilakukan dengan menggunakan grafik persamaan berikut ini.



$$\mu_{(DIFFERENT)} = \begin{cases} 1 & x < 20 \\ \frac{75-x}{35} & 20 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

$$\mu_{(SIMILAR)} = \begin{cases} 1 & x > 70 \\ \frac{x-40}{30} & 40 \leq x \leq 70 \end{cases}$$

Gambar 3.13 Grafik dan Persamaan Garis Variabel KESAMAAN

Dan sebagai aturan yang digunakan dalam sistem ini dibuat berdasarkan pola yang dipelajari dari ujicoba data citra training. Adapun aturan yang digunakan dirumuskan adalah sebagai berikut :

- If (SELISIH_CC is NAIK) and (SELISIH_NORM is TURUN) and (TOTAL_CC is MAX) and (TOTAL_NORM is MIN) then (KESAMAAN is SIMILAR)
- If (SELISIH_CC is TURUN) and (SELISIH_NORM is NAIK) and (TOTAL_CC is MAX) and (TOTAL_NORM is MIN) then (KESAMAAN is DIFFERENT)

- If (SELISIH_CC is NAIK) and (SELISIH_NORM is NAIK) and (TOTAL_CC is MIN) and (TOTAL_NORM is MAX) then (KESAMAAN is DIFFERENT)
- If (SELISIH_CC is TURUN) and (SELISIH_NORM is TURUN) and (TOTAL_CC is MAX) and (TOTAL_NORM is MIN) then (KESAMAAN is DIFFERENT)
- If (SELISIH_CC is NAIK) and (SELISIH_NORM is TURUN) and (TOTAL_CC is MAX) then (KESAMAAN is SIMILAR)
- If (SELISIH_CC is NAIK) and (TOTAL_CC is MAX) then (KESAMAAN is SIMILAR)
- If (SELISIH_NORM is TURUN) and (TOTAL_NORM is MIN) then (KESAMAAN is SIMILAR)
- If (SELISIH_NORM is TURUN) and (TOTAL_NORM is MIN) then (KESAMAAN is SIMILAR)

Delapan aturan fuzzy tersebut digunakan untuk memetakan variabel masukan kedalam variabel keluaran, sehingga didapat nilai keanggotaan pada himpunan variabel keluaran. Angka-angka yang digunakan dalam membentuk persamaan himpunan variabel masukan dan keluaran diperoleh dari hasil percobaan 12 citra gigi *training*, pengamatan visual terhadap citra hasil rekonstruksi, dan pola grafik yang terbentuk dari nilai koefisien korelasi dan jarak norm antara citra asli dan citra hasil rekonstruksi.

Proses pencarian nilai p optimum dimulai dari proses ekstraksi ciri citra menggunakan momen Zernike dengan $p = 15$, kemudian hasil ekstraksi ciri citra ini akan dibentuk citra rekonstruksi. Citra hasil rekonstruksi akan di ukur derajat kemiripannya dengan citra asli. Pengukuran derajat kemiripan ini menggunakan koefisien korelasi dan norm, yang menjadi masukan dari proses fuzzy diatas. Setelah melewati aturan fuzzy, akan didapat nilai keanggotaan pada himpunan keluaran. Jika besarnya nilai keanggotaan DIFFERENT masih lebih besar dari himpunan SIMILAR, maka iterasi akan dilanjutkan sampai didapat nilai keanggotaan DIFFERENT lebih kecil dari pada SIMILAR. Jika kondisi tersebut terpenuhi, maka iterasi berhenti dan didapat nilai p optimum. Iterasi juga akan berhenti pada titik $p = 45$.

Proses iterasi ini akan dilalui oleh fase penyimpanan data *entemortem* dan fase pencarian data *postmortem*. Pada fase penyimpanan data *entemortem*, tujuan dilakukan proses ekstraksi seperti ini adalah agar momen Zernike citra yang di simpan adalah momen Zernike yang optimum dalam mengesktraksi ciri citra.

Sementara pada proses pencarian data *postmortem* bertujuan agar data yang dibandingkan adalah momen Zernike yang optimum dalam mengekstraksi ciri citra gigi *postmortem*.

3.5 Proses Penyimpanan Ekstraksi Ciri Citra

Setelah didapat nilai p optimum untuk ekstraksi ciri citra gigi, maka nilai momen Zernike pada derajat p optimum yang berupa suatu vektor bilangan kompleks momen Zernike akan di simpan ke dalam basis data. Pada aplikasi yang dikembangkan, basis data yang digunakan adalah XML (*Extensible Markup Language*). Pemilihan berkas XML sebagai format penyimpanan data dikarenakan XML telah memiliki standar format baku yang dapat di baca oleh *platform* manapun, dan format XML pun merupakan format yang bersifat *human readable*, sehingga jika terjadi kesalahan penulisan dan pembacaan dapat dikoreksi oleh manusia.

Selain menyimpan vektor momen Zernike dengan panjang tertentu (berdasarkan besarnya nilai p optimum), *file* XML juga digunakan untuk menyimpan *file* data identitas citra. Vektor bilangan kompleks dari momen zernike disimpan secara iterasi pada *file* XML sebanyak panjang vektor yang dihasilkan, contoh format *file* XML yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.13.

File XML yang pertama adalah *file* yang menyimpan data diri pemilik citra gigi *entemortem* yang disimpan, data diri yang disimpan berupa nama, jenis kelamin, dan alamat. Data people ID adalah *foreign key* yang menghubungkan *file* data diri ke *file* data citra gigi. *File* kedua adalah *file* XML yang menyimpan data hasil ekstraksi citra gigi, berupa bilangan real dan bilangan imajiner (karena momen Zernike menghasilkan bilangan kompleks), banyaknya data bilangan sama dengan panjang vektor dari momen Zernike (N adalah panjang vektor momen Zernike -1). Data Complex ID adalah *foreign key* yang menghubungkan ke data individu. Kedua *file* XML disimpan pada *folder* yang berbeda.

File data diri 1.xml

```
<?xml version="1.0" >
<People id=1>
  <Data nama="nama orang" gender="jenis kelamin" address="alamat">
</People>
```

File momen Zernike 1.xml

```
<?xml version="1.0" >
<Complex id=1>
  <bilangan0 real="346649.651970506" imaginary="0" >
  <bilangan1 real="657567.707684638" imaginary="-32729.1604836234" >
  <bilangan2 real="96068867.2182002" imaginary="-9285793.95050512" >
  .....
  <bilanganN real="1.16406574009456E+31" imaginary="2.94347416798311E+28" >
</Complex>
```

Gambar 3.13 Format file XML yang digunakan

Proses penyimpanan *file* XML ini hanya berlaku untuk citra gigi *entemortem*. Proses penyimpanan data momen Zernike dalam bentuk *file* XML dilakukan bukan hanya pada metode fuzzy, tetapi juga digunakan pada metode yang menjadi metode perbandingan.

Penyimpanan data dalam format XML menggunakan *library class* XML yang telah disediakan oleh Microsoft visual C#, yaitu `XmlTextWriter`. Penggunaan *library class* ini mempermudah proses penyimpanan karena memiliki *method* `WriteStartDocument()`, `WriteStartElement()`. Implementasi dari proses penulisan data ke *file* XML dapat dilihat pada gambar 3.14.

Pada tahap pencarian citra gigi yang digunakan dalam proses identifikasi manusia, *file* XML yang ada didalam database akan dibaca untuk dibandingkan satu persatu dengan citra gigi yang dicari (*postmortem*). Pembacaan *file* XML ini juga menggunakan *library class* yang telah disediakan oleh Microsoft visual C#, yaitu `XmlTextReader`. Penggunaan class ini mempermudah proses pembacaan

karena memiliki *method* `Read()`. Implementasi dari proses pembacaan data *file* XML dapat dilihat pada gambar 3.15.

```
private void writeXML(Complex[] zernikeMoment) {
    string s = Application.StartupPath + "\\DentalData\\";
    System.IO.DirectoryInfo d = new System.IO.DirectoryInfo(s);
    int files = d.GetFiles().Length + 1;

    FileStream fs = new FileStream(s+files+".xml",
    FileMode.CreateNew, FileAccess.Write, FileShare.ReadWrite);
    XmlTextWriter w = new XmlTextWriter(fs, Encoding.UTF8);
    w.WriteStartDocument();
    w.WriteStartElement("Complex");
    w.WriteAttributeString("id", "" + files);
    for (int i = 0; i < zernikeMoment.Length; i++) {
        w.WriteStartElement("bilangan" + i);
        w.WriteAttributeString("real", zernikeMoment[i].Re + "");
        w.WriteAttributeString("imaginary", zernikeMoment[i].Im + "");
        w.WriteEndElement();
    }
    w.WriteEndElement();
    w.WriteEndDocument();
    w.Flush();
    fs.Close();
}
```

Gambar 3.14 Impelmentasi Proses Penulisan *File* XML

```

private Complex[,] readXML(int order) {
    Complex[,] data = new Complex[d.GetFiles().Length, jmlMoment];
    int iterasi = jmlMoment;
    for (int i = 1; i <= files; i++) {
        reader = new XmlTextReader(s+i+".xml");
        j=0;
        iterasi = jmlMoment;
        while (reader.Read()) {
            if (reader.NodeType.Equals(XmlNodeType.Element)){
                if (reader.Name.Equals("Complex")) {}
            }
            else {
                double x = Convert.ToDouble(reader.GetAttribute("real"));
                double y = Convert.ToDouble(reader.GetAttribute("imaginary"));
                data[i - 1, j] = new Complex(x, y);
                j++;
                iterasi--;
                if (iterasi < 1) {
                    break;
                }
            }
        }
    }
    return data;
}

```

Gambar 3.15 Impelmentasi Proses Pembacaan *File XML*

3.6 Proses Identifikasi

Proses identifikasi dilakukan setelah citra gigi *entemortem* telah tersimpan ke *database* dan dilakukan ekstraksi ciri citra gigi *postmortem*. Masing-masing nilai momen Zernike akan dibandingkan kemiripannya dengan menggunakan jarak. Perhitungan jarak yang digunakan adalah jarak *Euclidean* untuk banyak titik. Persamaan jarak euclidean yang digunakan adalah persamaan (2.25).

Karena nilai derajat polinomial Zernike yang digunakan dalam setiap proses ekstraksi ciri citra gigi berbeda, maka array dari momen Zernike yang dihasilkan juga memiliki panjang yang berbeda. Pada kasus seperti ini, maka elemen array yang dibandingkan hanyalah elemen array dari 0 (nol) sampai dengan elemen ke $k-1$, dimana k adalah panjang array yang minimum.

Dari hasil membandingkan jarak data *entemortem* dan *postmortem* secara satu persatu, maka data *entemortem* yang bersesuaian dengan citra gigi *postmortem* adalah data dengan jarak Euclidean terkecil.

BAB IV UJI COBA

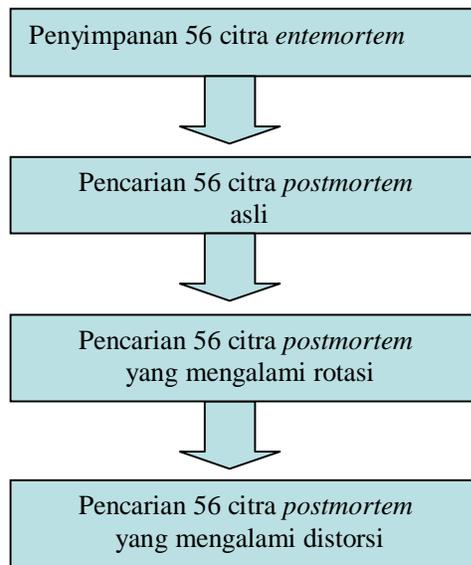
4.1 Skenario Uji Coba

4.1.1 Metode Pemanding

Seperti yang telah di jelaskan pada sub bab 2.1.4, metode tersebut akan digunakan sebagai metode pembandingan dari metode yang diajukan. Citra masukan yang digunakan pada metode sebelumnya adalah citra biner, sementara citra masukan dalam riset ini adalah citra abu-abu. Karena kondisi tersebut, maka pada proses perhitungan derajat kesamaan citra asli dengan citra hasil rekonstruksi akan digunakan perhitungan yang berbeda. Jika sebelumnya digunakan jarak *Hamming*, maka pada kasus ini digunakan koefisien korelasi, sementara proses yang lainnya sama seperti pada pembahasan bab 2.1.4.

4.1.2 Skenario Pengujian

Uji coba dilakukan untuk melihat kinerja metode yang diajukan dibanding dengan metode yang telah ada. Kinerja dilihat dari sisi ketepatan penemuan kembali citra gigi, dan waktu komputasi yang dibutuhkan dalam mengekstrak ciri citra gigi secara maksimal. Gambar 4.1 menunjukkan alur skenario ujicoba yang dilakukan



Gambar 4.1 Alur Skenario Pengujian

Uji coba akan dilakukan dengan menggunakan 56 data gigi panoramik berbeda. 56 data gigi ini didapat dari hasil kerjasama Pembimbing dengan pihak Rumah Sakit Pertamina dan pihak Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia Salemba. Data gigi yang didapat berupa data gigi *x-ray* yang harus diubah menjadi citra gigi panoramik digital.



Gambar 4.2 Antar Muka Aplikasi Pencocokan Citra Gigi

Dalam proses uji coba yang dilakukan, citra gigi akan dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu citra gigi *entemortem* dan citra gigi *postmortem*. Kelompok *entemortem* adalah kelompok citra gigi yang akan disimpan kedalam database. Sementara kelompok *postmortem* adalah citra gigi yang mengalami rotasi dan distorsi, rotasi dilakukan dengan variasi sudut 5° , 50° , 90° dan 130° . Pada proses pembuatan citra gigi yang mengalami distorsi, citra gigi asli akan diberikan *noise* baik berupa penghilangan 1 – 3 gigi, penambahan coretan pada citra gigi, dan bentuk-bentuk *noise* lainnya. Proses mendapatkan citra gigi yang di rotasi dan di-distorsi, dilakukan dengan cara mengolah citra asli menggunakan *software* Adobe Photoshop.

Perhitungan waktu komputasi dilakukan pada proses untuk mendapatkan ekstraksi ciri citra maksimal, baik untuk citra gigi *entemortem* dan *postmortem*, dan proses pencarian citra. Hal yang sama juga akan dilakukan pada metode pembandingan. Uji coba ini akan dilakukan sebanyak enam kali, yaitu :

1. Penyimpanan 56 citra gigi panoramik *entemortem* menggunakan metode dengan fuzzy dan tanpa fuzzy. Tujuan uji coba ini untuk melihat waktu komputasi yang digunakan dari proses ekstraksi ciri citra yang dilakukan oleh kedua metode.
2. Pencarian 56 citra gigi panoramik *postmortem* yang tidak mendapatkan *noise* menggunakan metode dengan fuzzy dan tanpa fuzzy. Tujuan uji coba ini untuk melihat perbandingan waktu komputasi yang dilakukan dalam proses pencarian citra gigi yang telah dirotasi, ketepatan hasil pencarian, dan derajat kesamaan citra pencarian dengan citra hasil temuan dari kedua metode.
3. Pencarian 56 citra gigi panoramik *postmortem* yang mengalami rotasi. Tujuan uji coba ini untuk melihat perbandingan waktu komputasi yang dilakukan dalam proses pencarian citra gigi yang telah dirotasi, ketepatan hasil pencarian dari metode yang diajukan, dan derajat kesamaan citra pencarian dengan citra hasil temuan dari kedua metode.
4. Pencarian 56 citra gigi panoramik *postmortem* yang mengalami *distorsi*. Tujuan uji coba ini untuk melihat waktu komputasi yang dilakukan oleh proses pencarian citra gigi yang telah di *distorsi*, ketepatan hasil pencarian dari metode yang diajukan, dan derajat kesamaan citra gigi pencarian dengan citra hasil temuan dari kedua metode.

4.2 Hasil Uji Coba

Pada percobaan 1, waktu eksekusi dihitung dari proses ekstraksi ciri citra menggunakan momen Zernike sampai pada proses penulisan nilai momen Zernike kedalam bentuk file XML. Dari proses penyimpanan 56 citra *entemortem* yang telah dilakukan, dengan metode fuzzy waktu maksimum yang dibutuhkan untuk proses ekstraksi citra dan penyimpanan hasil ekstraksi citra adalah 1041656,25 milidetik terjadi pada proses penyimpanan data citra 9.jpg, dan waktu minimum

yang dibutuhkan adalah 6750 milidetik terjadi pada proses penyimpanan data citra 10.jpg. Sementara rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk proses penyimpanan tersebut adalah 43201.73 milidetik, dan simpangan baku waktu penyimpanan adalah 148345.411 milidetik.

Pada penggunaan metode tanpa fuzzy, waktu maksimum yang dibutuhkan untuk proses ekstraksi ciri citra dan penyimpanan hasil ekstraksi ciri citra adalah sebesar 1265593,75 milidetik terjadi para proses penyimpanan data citra 26.jpg, dan waktu minimum yang dibutuhkan adalah 6734,375 milidetik terjadi pada penyimpanan data citra 3.jpg. Sementara rata-rata waktu yang dibutuhkan adalah sebesar 175281,53 milidetik, dan simpangan baku waktu penyimpangan adalah 410636,92 milidetik. Seluruh hasil percobaan 1 dapat dilihat pada lampiran 1, dan statistik percobaan 1 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Statistik Percobaan 1

| Keterangan | Dengan Fuzzy (milidetik) | Tanpa Fuzzy (milidetik) |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Nilai Maksimum | 1041656,25 | 1265593,75 |
| Nilai Minimum | 6750 | 6734,375 |
| Nilai Rata-rata | 43201,73 | 175281,53 |
| Nilai Simpangan Baku | 148345,411 | 410636,92 |

Pada percobaan 2, waktu eksekusi dihitung dari proses ekstraksi ciri citra *postmortem* menggunakan momen Zernike sampai proses pencarian citra *entemortem* yang bersesuaian. Dari 56 citra *postmortem* yang sama dengan citra *entemortem*, kedua metode berhasil menemukan citra gigi yang bersesuaian dengan tingkat kebenaran 100%. Sementara dari sisi penggunaan waktu, metode menggunakan fuzzy membutuhkan waktu maksimum pada proses pencarian sebesar 1143688 milidetik, dan waktu minimum sebesar 7046,875 milidetik. Sementara rata-rata penggunaan waktu sebesar 48403,05 milidetik, dan simpangan baku sebesar 161323,6 milidetik.

Pada metode tanpa fuzzy, waktu maksimum yang dibutuhkan pada proses pencarian 1324640,625 milidetik terjadi pada proses pencarian citra 2.jpg, dan waktu minimum sebesar 7031,25 milidetik terjadi pada proses pencarian citra gigi

2P.jpg. sementara rata-rata waktu pencarian sebesar 183013,2254 milidetik dengan simpangan baku sebesar 428484,5702 milidetik. Seluruh hasil percobaan 2 dapat dilihat pada lampiran 2, dan hasil perhitungan statistik dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Statistik Percobaan 2

| Keterangan | Dengan Fuzzy | Tanpa Fuzzy |
|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Nilai Maksimum | 1143688 milidetik | 1324640,625 milidetik |
| Nilai Minimum | 7046,875 milidetik | 7031,25 milidetik |
| Nilai Rata-rata | 48403,05 milidetik | 183013,2254 milidetik |
| Nilai Simpangan Baku | 161323,6 milidetik | 428484,5702 milidetik |
| Ketepatan Pencarian | 100% | 100% |

Pada percobaan 3, waktu eksekusi dihitung dari proses ekstraksi ciri citra *postmortem* menggunakan momen Zernike sampai proses pencarian citra *entemortem* yang bersesuaian. Dari 56 citra *postmortem* yang dirotasi, penggunaan metode fuzzy berhasil menemukan kembali citra gigi *entemortem* yang bersesuaian dengan tingkat keberhasilan 100%. Pada proses pencarian citra waktu maksimum yang dibutuhkan adalah 1187906,25 milidetik terjadi pada pencarian citra 25.jpg, dan waktu minimum pencarian citra adalah 6750 milidetik terjadi pada pencarian OP.jpg. Waktu rata-rata pencarian citra gigi adalah sebesar 36292.51 milidetik dengan simpangan baku waktu pencarian adalah 158210,763 milidetik.

Penggunaan metode tanpa fuzzy, hanya mampu menemukan kembali citra gigi *entemortem* dengan tingkat keberhasilan sebesar 94,6%, kesalahan terjadi pada pencarian citra gigi 2_50.jpg, 6_50.jpg, dan 26_50.jpg. Pada proses pencarian citra, waktu maksimum yang dibutuhkan adalah sebesar 1332859,375 milidetik terjadi pada proses pencarian citra 11_90.jpg, dan waktu minimum sebesar 6875 milidetik terjadi pada proses pencarian citra OP_5.jpg. Sementara rata-rata waktu pencarian adalah sebesar 120112,5 milidetik dengan simpangan baku sebesar 354983,4 milidetik. Seluruh hari percobaan 3 dapat dilihat pada lampiran 3, dan perhitungan statistik perbandingan kedua metode dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Statistik Percobaan 3

| Keterangan | Dengan Fuzzy | Tanpa Fuzzy |
|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Nilai Maksimum | 1187906,25 milidetik | 1332859,375 milidetik |
| Nilai Minimum | 6750 milidetik | 6875 milidetik |
| Nilai Rata-rata | 36292,51 milidetik | 120112,5 milidetik |
| Nilai Simpangan Baku | 158210,763 milidetik | 354983,4 milidetik |
| Ketepatan Pencarian | 100% | 94.6% |

Pada percobaan 4, waktu eksekusi dihitung dari proses ekstraksi ciri citra *postmortem* menggunakan momen Zernike sampai proses pencarian citra *entemortem* yang bersesuaian. Dari 56 citra *postmortem* yang didistorsi, penggunaan metode fuzzy hanya berhasil menemukan citra gigi *entemortem* yang bersesuaian dengan ketepatan 98.2%, kesalahan terjadi pada proses pencarian citra 8P_d.jpg. Pada proses pencarian, waktu maksimum yang dibutuhkan adalah sebesar 1300687,5 milidetik terjadi pada pencarian citra 11.jpg, dan waktu minimum pencarian citra adalah 7250 milidetik terjadi pada pencarian citra 13.jpg. Rata-rata penggunaan waktu pada proses pencarian citra gigi adalah sebesar 74457.031 milidetik dengan simpangan baku waktu pencarian adalah 230527,8 milidetik.

Pada penggunaan metode tanpa fuzzy, ketepatan pencarian citra gigi *entemortem* yang berkesesuaian mencapai 98.2%, kesalahan terjadi pada pencarian citra gigi 8P_d.jpg. Besarnya waktu maksimum yang dibutuhkan pada proses pencarian mencapai 1276500 milidetik terjadi pada proses pencarian citra gigi 2_d.jpg, dan waktu minimum adalah sebesar 6671,875 milidetik terjadi pada proses pencarian citra 11P_d.jpg. Besarnya rata-rata waktu pencarian adalah 169869,88 milidetik dengan simpangan baku sebesar 406065,78 milidetik. Seluruh hasil percobaan 4 dapat dilihat pada lampiran 4, dan statistik hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.4.

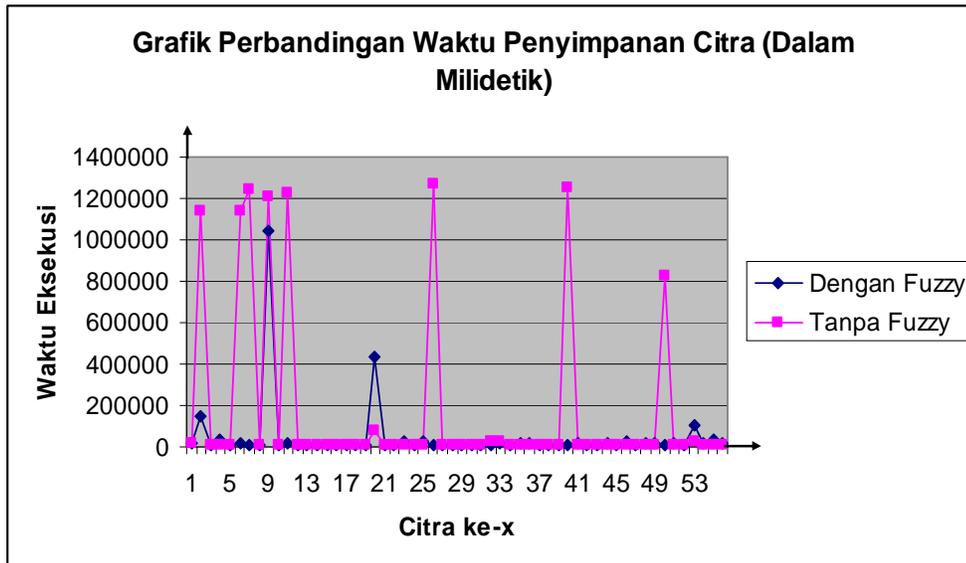
Tabel 4.4 Statistik Percobaan 4

| Keterangan | Dengan Fuzzy | Tanpa Fuzzy |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Nilai Maksimum | 1300687,5 milidetik | 1276500 milidetik |
| Nilai Minimum | 7250 milidetik | 6671,875 milidetik |
| Nilai Rata-rata | 74457,031 milidetik | 169869,88 milidetik |
| Nilai Simpangan Baku | 230527,8 milidetik | 406065,78 milidetik |
| Ketepatan Pencarian | 98.2% | 98.2% |

4.3 Analisa

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan, tabel 4.1 memperlihatkan perbandingan antara metode menggunakan sistem inferensi fuzzy dan metode tanpa fuzzy. Secara keseluruhan, penggunaan sistem inferensi fuzzy memberikan efisiensi waktu pada proses ekstraksi ciri citra gigi dan penyimpanan hasil ekstraksi. Hal ini didasarkan nilai rata-rata pada percobaan 1, dimana penggunaan sistem inferensi fuzzy lebih kecil dibandingkan hasil rata-rata pada percobaan tanpa sistem inferensi fuzzy. Penggunaan logika fuzzy pada proses ekstraksi ciri citra memberikan efisiensi waktu sebesar 4 kali lebih cepat dari metode sebelumnya. Dan jika dilihat dari perbandingan besarnya simpangan baku kedua metode, maka metode yang diajukan bekerja lebih stabil. Perbandingan kinerja kedua percobaan ini dapat dilihat pada gambar 4.3.

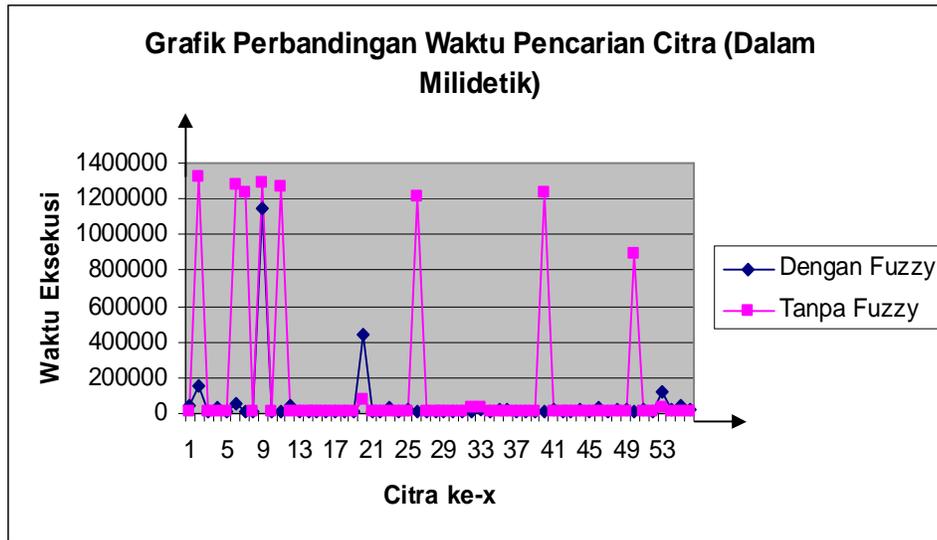
Pada kasus-kasus tertentu, kita juga dapat melihat bahwa penggunaan sistem inferensi fuzzy bekerja lebih lama dari pada tanpa fuzzy, pada gambar 4.3 kita dapat melihat kasus-kasus tersebut terjadi pada proses penyimpanan citra gigi ke 2, 21, dan 53. Pada penggunaan metode tanpa fuzzy, perhitungan derajat kemiripan hanya berdasarkan besarnya nilai koefisien korelasi. Ketika suatu citra memiliki koefisien korelasi yang besar, maka derajat polinomial optimum yang dicapai relatif lebih kecil. Sementara pada metode dengan fuzzy, besarnya derajat optimum juga ditentukan oleh besarnya nilai jarak euclidean citra tersebut. Sehingga, meskipun citra tersebut memiliki nilai koefisien korelasi yang tinggi, tetapi nilai euclidean yang masih besar, maka iterasi pencarian akan terus berlanjut. Pada kasus-kasus diatas, terjadi karena citra-citra tersebut hanya memiliki nilai koefisien korelasi yang tinggi, tetapi juga memiliki nilai euclidean yang tinggi.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Penyimpanan Citra

Perbedaan yang mendasar pada kedua metode ini adalah pada penambahan perhitungan variabel norm sebagai penentu derajat kemiripan citra hasil rekonstruksi dengan citra asli yang diberlakukan pada metode yang diajukan. Peran nilai norm berguna ketika terjadi kasus dimana rentan nilai koefisien korelasi antara citra gigi rekonstruksi dengan citra gigi asli berada jauh dari rentan nilai umum yang digunakan sebagai patokan untuk menyatakan suatu citra hasil rekonstruksi sudah cukup serupa dengan citra gigi asli. Di samping itu, arah gerak perhitungan norm yang berlawanan dengan koefisien korelasi menjadikan norm dan koefisien korelasi mampu bekerja sama dalam menentukan derajat kemiripan suatu citra.

Pada percobaan 2, penerapan metode fuzzy memberikan efisiensi waktu mencapai 3,7 kali lebih cepat dibanding metode tanpa fuzzy. dari selisih simpangan baku kedua metode menunjukkan bahwa kinerja metode menggunakan fuzzy juga lebih stabil. Perbandingan kedua metode ini pada percobaan 2 dapat dilihat pada gambar 4.4. Karena pada proses pencarian ini juga dilakukan proses ekstraksi ciri citra gigi *postmortem*, maka kinerja pencarian kedua metode ini juga dipengaruhi dari kinerja metode ekstraksi ciri citra.



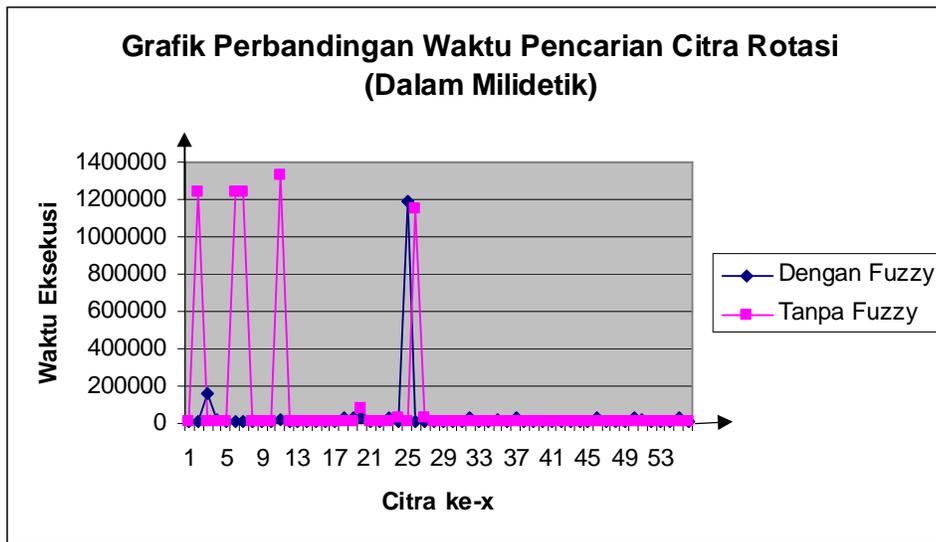
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Normal

Seperti diketahui pada percobaan 1, dari 56 citra yang di ekstraksi, terdapat beberapa citra yang harus di ekstraksi menggunakan polinomial Zernike berderajat tertinggi, karena nilai koefisien korelasi yang tidak berada pada rentan nilai umum citra yang dinyatakan sama, sementara kasus-kasus tersebut penggunaan metode dengan fuzzy berhasil diatasi oleh nilai variabel norm, sementara pada metode tanpa fuzzy, hal tersebut tidak berhasil diatasi. Kegagalan mengekstraksi citra gigi secara optimum pada proses ini akan memberikan pengaruh yang signifikan pada proses pencarian citra gigi nantinya.

Pada tabel 4.3 memperlihatkan perbandingan antara metode menggunakan sistem inferensi fuzzy dan metode tanpa fuzzy dalam hal pencarian data gigi *postmortem* yang mengalami rotasi. Penggunaan sistem inferensi fuzzy menunjukkan keberhasilan 100% dalam proses pencarian citra, sementara metode tanpa sistem inferensi fuzzy hanya mampu mencapai keberhasilan 94.6%. Pada percobaan 3, baik data *entemortem* dan *postmortem* ciri citra di ekstraksi secara optimal sehingga ketika dilakukan proses *matching* data-data yang dibandingkan adalah data-data yang memiliki ekstraksi ciri optimal. Berbeda dengan metode tanpa fuzzy, dimana pada kasus-kasus citra tertentu metode tanpa fuzzy terbukti tidak mampu melakukan proses ekstraksi ciri citra secara optimal, sehingga ketika

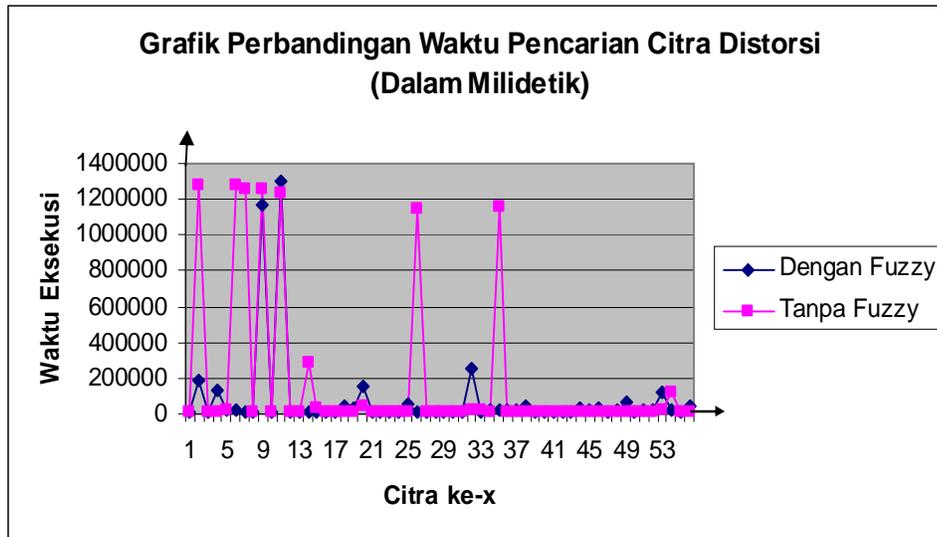
proses *matching* dilakukan tidak semua ciri citra dari gigi yang digunakan dalam perbandingan.

Pada proses pencarian citra gigi, penggunaan metode dengan fuzzy mampu bekerja lebih efisien dengan kecepatan 3,3 kali lebih cepat dibandingkan tanpa tanpa fuzzy. Gambar 4.5 memperlihatkan perbandingan kinerja kedua metode pada percobaan 3, dapat kita simpulkan bahwa metode dengan fuzzy bekerja lebih stabil.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Rotasi

Pada tabel 4.4 memperlihatkan perbandingan antara metode menggunakan sistem inferensi fuzzy dan metode tanpa fuzzy dalam hal pencarian data gigi *postmortem* yang mengalami distorsi. Masing-masing metode memberikan tingkat keberhasilan yang sama yaitu 98.2%. kesalahan pencarian ini terjadi pada kasus yang sama untuk setiap percobaan, yaitu pencarian citra 8P.jpg, dimana citra hasil pencarian merujuk ke citra 6P.jpg. Dari sisi waktu pencarian yang digunakan, metode dengan fuzzy bekerja lebih cepat dengan kecepatan 2,3 kali lebih cepat. Gambar 4.6 memperlihatkan perbandingan waktu eksekusi proses pencarian citra kedua metode, dapat kita lihat bahwa metode fuzzy bekerja lebih stabil.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Waktu Eksekusi Proses Pencarian Citra Distorsi

Secara visual, citra gigi 8P.jpg dan 6P.jpg adalah citra gigi dengan kualitas citra yang tidak baik, dan pada ujicoba ini juga digunakan beberapa citra gigi yang memiliki kualitas gambar yang rendah (buruk). Kondisi ini menyebabkan kesalahan pencarian citra yang terjadi pada percobaan 3 dan percobaan 6. Gambar 4.5 adalah contoh citra gigi dengan kualitas rendah.

Berdasarkan analisa kompleksitas waktu eksekusi, lamanya proses ekstraksi ciri citra gigi menggunakan momen Zernike ditentukan oleh besarnya derajat polinomial Zernike (p), dengan kompleksitas $O(\text{big oh})$ sebesar $\sum p$, sehingga semakin besar derajat polinomial Zernike yang digunakan, akan semakin besar waktu eksekusi yang dihasilkan. Sementara pada proses pencarian citra *entemortem*, karena data disimpan dalam bentuk *file xml*, proses pencarian ini dilakukan secara linear. Jika n adalah jumlah data *entemortem* yang disimpan, maka kompleksitas $O(\text{big oh})$ pada proses pencarian adalah n . Semakin banyak citra data *entemortem* yang dimiliki, akan semakin lama waktu yang diperlukan dalam proses pencarian citra.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan dari serangkaian ujicoba yang telah dilakukan, yaitu :

1. Jarak Euclidean dan nilai koefisien korelasi dari citra gigi asli dengan citra gigi hasil rekonstruksi dapat digunakan sebagai parameter dalam mencari nilai derajat polinomial Zernike yang optimum.
2. Penambahan variabel jarak Euclidean pada perhitungan optimalisasi momen Zernike berguna untuk kasus-kasus data yang memiliki nilai koefisien korelasi rendah
3. Penentuan derajat polinomial Zernike yang optimum dilakukan dengan cara melakukan iterasi ekstraksi ciri citra dari nilai p minimum sampai didapat nilai p optimum atau nilai p maksimum. Pada setiap iterasi akan dihitung nilai koefisien korelasi dan jarak euclidean citra rekonstruksi dengan citra asli, nilai-nilai tersebut akan menjadi masukan pada fungsi fuzzy yang menentukan derajat kemiripan citra gigi asli dengan citra gigi rekonstruksi.
4. Optimal derajat dari polinomial Zernike yang didapat bukanlah derajat polinomial yang mengekstraksi ciri citra gigi secara maksimal.
5. Optimal derajat dari polinomial Zernike yang didapat dari metode yang diajukan adalah derajat polinomial Zernike yang mampu mengekstraksi ciri spesifik dari citra gigi yang cukup mewakili ke-khas-an citra gigi tersebut.
6. Penggunaan sistem inferensi fuzzy dalam menentukan derajat optimum dari momen Zernike bekerja lebih baik di banding metode tanpa fuzzy.
7. Penentuan optimal derajat dari polinomial Zernike secara otomatis membuat aplikasi ini dapat digunakan pengguna tanpa harus mengetahui konsep momen Zernike sebagai ekstraksi ciri citra.
8. Baik buruknya kualitas citra gigi yang digunakan mempengaruhi ketepatan proses pencarian citra gigi *postmortem*.

5.2 Saran

Adapun saran pengembangan yang diusulkan oleh penulis berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Pada proses identifikasi korban bencana, data citra gigi yang umum digunakan adalah data citra gigi non panoramik, penelitian ini dapat dikembangkan untuk mencari data *entemortem* panoramik yang bersesuaian dengan data gigi tunggal postmortem.
2. Penggunaan citra gigi digital yang tanpa melalui proses *scanning* akan memperbaiki kualitas kinerja aplikasi.
3. Pengembangan klasifikasi hasil identifikasi menjadi *true positive*, *true negative*, *false positive*, dan *false negative*.
4. Aplikasi ini belum dapat mengatasi masalah translasi pada citra *dental x-ray*.
5. Penggunaan struktur data yang tepat dalam proses penyimpanan citra gigi *entemortem* sehingga dapat mempercepat proses pencarian.

DAFTAR PUSTAKA

[Al-Rawi 2007]

Al-Rawi, Mohammed. 2007. *Fast Zernike Moments*. Springer

[Anonymous 2008]

Anonymous, 2008, "Peran Dokter Gigi dalam Identifikasi Korban Bencana"
"http://warta.unair.ac.id/news/?id=963 Diakses pada tanggal 6 juli 2009

[Anonymous 2007]

Anonymous. 2007. DVI Guide, <http://www.interpol.int/Public/DisasterVictim/Guide.asp>.
Diakses pada tanggal 1 Juli 2009.

[Anonymous 2007]

Anonymous, 2006. "Karies Gigi", http://medicastore.com/penyakit/140/Karies_Gigi_Kavitasi.html.
Diakses pada tanggal 1 Juli 2009

[Bin 2002]

Bin, Ye, & Peng Jia-Xiong, 2002. Improvement and Invariance Analysis of Zernike Moments using as a Region based Shape Descriptor. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*,

[Evans 1992]

Evans, C.W. 1992. *Engineering Mathematics : A Programmed approach*. CHAPMAN & HALL.

[Fu 2007]

Fu, Bo., Liu, Jin., Fan, Xiuxiang., and Quan, Yi. 2007. A Hybrid Algorithm of Fast and Accurate Computing Zernike Moments. *IEEE*.

[Goodwin 2006]

E. P. Goodwin., & J. C. Wyant. 2006 *Field Guide to Interferometric Optical Testing*, SPIE Press, Bellingham. <http://www.optics.arizona.edu/jcwyant/Zernikes/ZernikePolynomials.htm> diakses tanggal 9 Agustus 2009

[Haris 2009]

Haris, M. 2009. Perangkat Lunak Pencocokan Citra Dental X-ray dengan Zernike Moment untuk Identifikasi Korban Bencana. Fasilkom Universitas Indonesia.

[Hey 2001]

Heymann, Harald O. & Swift, Edward J. 2001. *Student's Art & Science of Operative Dentistry*. Mosby, A harcourt Health Science Company

[Jain 2004]

Jain, Anil K., & Chen, Hong. 2004. Matching of Dental X-ray Images for Human identification. www.elsevier.com/locate/compvis.

[Kotoulas 1998]

Kotoulas, L., & Andreadis I. 1998. Image Analysis Using Moments, Laboratory of Electronics, Department of Electrical and Computer Engineering, Democritus University of Thrace, Yunani.

[Khotanzad 1989]

Khotanzad, Alireza and Hong, Yaw Hua. 1989. Invariant Image Recognition by Zernike Moment. IEEE Vol 12 No 5

[Lai 2008]

Lai, Y.H., & Lin, P.L. 2008. Effective Segmentation for Dental X-Ray Images Using Texture-based Fuzzy Inference System. Springer

[Lee 2004]

H.lee, Kwang. 2004. First Course on Fuzzy Theory and Applications. Springer

[Mukundan 1998]

Mukundan, R., & Ramakrishnan, K.R. 1998. Moment Functions in Image Analysis : Theory and Application. World Scientific.

[Mukundan 1995]

Mukundan, R. & Ramakrishnan, K.R. 1995. Fast Computation of Legendre and Zernike Moments. www.elsevier.com/locate/computsci.

[Nagaraj 2008]

Nagaraj, P. Ramprasad. H.C., & Parasuram, M.K. 2008. Wavelet based Image Registration Technique for Matching Dental X-rays. World Academic of Science.

[Sweet 2010]

Sweet O.C, David. 2010. Forensic Dental Identification. www.sciencedirect.com

[Weisstein]

Weisstein, Eric W. Zernike Polynomial.

<http://mathworld.wolfram.com/ZernikePolynomial.html> diakses tanggal 6 juli 2009

[Zadeh 1965]

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Set. Department of Electrical Engineering and Electronic Research laboratory, University of California.

LAMPIRAN 1. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 1

| No | Citra Entemortem | Waktu Eksekusi (dalam milidetik) | |
|----|------------------|----------------------------------|--------------------|
| | | Metode Fuzzy | Metode tanpa Fuzzy |
| 1 | 1.jpg | 13937,5 | 13546,875 |
| 2 | 2.jpg | 144359,375 | 1137921,875 |
| 3 | 3.jpg | 6875 | 6734,375 |
| 4 | 4.jpg | 35125 | 6781,25 |
| 5 | 5.jpg | 6843,75 | 6859,375 |
| 6 | 6.jpg | 21343,75 | 1142937,5 |
| 7 | 7.jpg | 6843,75 | 1247750 |
| 8 | 8.jpg | 6968,75 | 7125 |
| 9 | 9.jpg | 1041656,25 | 1206953,125 |
| 10 | 10.jpg | 6750 | 6953,125 |
| 11 | 11.jpg | 15593,75 | 1228562,5 |
| 12 | 12.jpg | 10921,875 | 7156,25 |
| 13 | 13.jpg | 11375 | 11203,125 |
| 14 | 14.jpg | 10906,25 | 11578,125 |
| 15 | 15.jpg | 10906,25 | 6968,75 |
| 16 | 16.jpg | 6968,75 | 7046,875 |
| 17 | 17.jpg | 10968,75 | 7015,625 |
| 18 | 18.jpg | 11375 | 7265,625 |
| 19 | 19.jpg | 10921,875 | 6953,125 |
| 20 | 20.jpg | 431484,375 | 77234,375 |
| 21 | 21.jpg | 6890,625 | 7187,5 |
| 22 | 22.jpg | 6984,375 | 7000 |
| 23 | 23.jpg | 27515,625 | 7359,375 |
| 24 | 24.jpg | 6843,75 | 7046,875 |
| 25 | 25.jpg | 22843,75 | 11296,875 |
| 26 | 26.jpg | 7250 | 1265593,75 |
| 27 | 27.jpg | 7171,875 | 7140,625 |
| 28 | 28.jpg | 7031,25 | 6968,75 |
| 29 | 0P.jpg | 7000 | 6984,375 |
| 30 | 1P.jpg | 6984,375 | 7234,375 |
| 31 | 2P.jpg | 10953,125 | 7015,625 |
| 32 | 3P.jpg | 10953,125 | 28765,625 |
| 33 | 4P.jpg | 15765,625 | 28796,875 |
| 34 | 5P.jpg | 10984,375 | 7125 |
| 35 | 6P.jpg | 21171,875 | 7703,125 |
| 36 | 7P.jpg | 15796,875 | 6921,875 |
| 37 | 8P.jpg | 10953,125 | 7125 |
| 38 | 9P.jpg | 6875 | 7000 |
| 39 | 10P.jpg | 10937,5 | 7234,375 |
| 40 | 11P.jpg | 10937,5 | 1255031,25 |
| 41 | 12P.jpg | 21156,25 | 7203,125 |
| 42 | 13P.jpg | 11031,25 | 7234,375 |
| 43 | 14P.jpg | 10937,5 | 7218,75 |
| 44 | 15P.jpg | 21140,625 | 7437,5 |
| 45 | 16P.jpg | 10984,375 | 7296,875 |
| 46 | 17P.jpg | 27515,625 | 7250 |
| 47 | 18P.jpg | 11109,375 | 7296,875 |
| 48 | 19P.jpg | 15781,25 | 7359,375 |
| 49 | 20P.jpg | 15781,25 | 7187,5 |
| 50 | 21P.jpg | 6890,625 | 826171,875 |
| 51 | 22P.jpg | 21125 | 9921,875 |
| 52 | 23P.jpg | 10968,75 | 6937,5 |
| 53 | 24P.jpg | 103953,125 | 29109,375 |

| | | | |
|----|---------|-----------|-----------|
| 54 | 25P.jpg | 21203,125 | 12296,875 |
| 55 | 26P.jpg | 34578,125 | 7437,5 |
| 56 | 27P.jpg | 21171,875 | 7328,125 |

LAMPIRAN 2. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 2

| No | Citra Postmortem | Metode Fuzzy | | | Metode Tanpa Fuzzy | | |
|----|------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------|-------------------|----------|
| | | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan |
| 1 | 1.jpg | 1.jpg | 41937,5 | 100% | 1.jpg | 11687,5 | 100% |
| 2 | 2.jpg | 2.jpg | 156562,5 | 100% | 2.jpg | 1324640,625 | 100% |
| 3 | 3.jpg | 3.jpg | 7421,875 | 100% | 3.jpg | 7671,875 | 100% |
| 4 | 4.jpg | 4.jpg | 38328,125 | 100% | 4.jpg | 7500 | 100% |
| 5 | 5.jpg | 5.jpg | 9375 | 100% | 5.jpg | 7500 | 100% |
| 6 | 6.jpg | 6.jpg | 52853,125 | 100% | 6.jpg | 1280156,25 | 100% |
| 7 | 7.jpg | 7.jpg | 7640,625 | 100% | 7.jpg | 1231281,25 | 100% |
| 8 | 8.jpg | 8.jpg | 7796,875 | 100% | 8.jpg | 7281,25 | 100% |
| 9 | 9.jpg | 9.jpg | 1143687,5 | 100% | 9.jpg | 1288593,75 | 100% |
| 10 | 10.jpg | 10.jpg | 7046,875 | 100% | 10.jpg | 7062,5 | 100% |
| 11 | 11.jpg | 11.jpg | 16531,25 | 100% | 11.jpg | 1263750 | 100% |
| 12 | 12.jpg | 12.jpg | 42781,25 | 100% | 12.jpg | 7343,75 | 100% |
| 13 | 13.jpg | 13.jpg | 11671,875 | 100% | 13.jpg | 11578,125 | 100% |
| 14 | 14.jpg | 14.jpg | 11890,625 | 100% | 14.jpg | 11750 | 100% |
| 15 | 15.jpg | 15.jpg | 11843,75 | 100% | 15.jpg | 7312,5 | 100% |
| 16 | 16.jpg | 16.jpg | 7140,625 | 100% | 16.jpg | 7171,875 | 100% |
| 17 | 17.jpg | 17.jpg | 11718,75 | 100% | 17.jpg | 7921,875 | 100% |
| 18 | 18.jpg | 18.jpg | 11859,375 | 100% | 18.jpg | 7390,625 | 100% |
| 19 | 19.jpg | 19.jpg | 12468,75 | 100% | 19.jpg | 7468,75 | 100% |
| 20 | 20.jpg | 20.jpg | 442890,63 | 100% | 20.jpg | 81031,25 | 100% |
| 21 | 21.jpg | 21.jpg | 7578,125 | 100% | 21.jpg | 7656,25 | 100% |
| 22 | 22.jpg | 22.jpg | 7078,125 | 100% | 22.jpg | 7218,75 | 100% |
| 23 | 23.jpg | 23.jpg | 28921,875 | 100% | 23.jpg | 7296,875 | 100% |
| 24 | 24.jpg | 24.jpg | 7421,875 | 100% | 24.jpg | 7250 | 100% |
| 25 | 25.jpg | 25.jpg | 22609,375 | 100% | 25.jpg | 11406,25 | 100% |
| 26 | 26.jpg | 26.jpg | 7343,75 | 100% | 26.jpg | 1207703,125 | 100% |
| 27 | 27.jpg | 27.jpg | 7984,375 | 100% | 27.jpg | 7437,5 | 100% |
| 28 | 28.jpg | 28.jpg | 7281,25 | 100% | 28.jpg | 7062,5 | 100% |
| 29 | 0P.jpg | 0P.jpg | 7375 | 100% | 0P.jpg | 7046,875 | 100% |
| 30 | 1P.jpg | 1P.jpg | 7593,75 | 100% | 1P.jpg | 7046,875 | 100% |
| 31 | 2P.jpg | 2P.jpg | 12265,625 | 100% | 2P.jpg | 7031,25 | 100% |
| 32 | 3P.jpg | 3P.jpg | 11796,875 | 100% | 3P.jpg | 28359,375 | 100% |
| 33 | 4P.jpg | 4P.jpg | 17250 | 100% | 4P.jpg | 28343,75 | 100% |
| 34 | 5P.jpg | 5P.jpg | 12140,625 | 100% | 5P.jpg | 7484,375 | 100% |
| 35 | 6P.jpg | 6P.jpg | 22906,25 | 100% | 6P.jpg | 7484,375 | 100% |
| 36 | 7P.jpg | 7P.jpg | 17234,375 | 100% | 7P.jpg | 7484,375 | 100% |
| 37 | 8P.jpg | 8P.jpg | 11546,875 | 100% | 8P.jpg | 7421,875 | 100% |
| 38 | 9P.jpg | 9P.jpg | 7484,375 | 100% | 9P.jpg | 7375 | 100% |
| 39 | 10P.jpg | 10P.jpg | 11546,875 | 100% | 10P.jpg | 7390,625 | 100% |

| | | | | | | | |
|----|---------|---------|-----------|------|---------|-------------|------|
| 40 | 11P.jpg | 11P.jpg | 12078,125 | 100% | 11P.jpg | 1240109,375 | 100% |
| 41 | 12P.jpg | 12P.jpg | 23468,75 | 100% | 12P.jpg | 7437,5 | 100% |
| 42 | 13P.jpg | 13P.jpg | 11484,375 | 100% | 13P.jpg | 7468,75 | 100% |
| 43 | 14P.jpg | 14P.jpg | 11937,5 | 100% | 14P.jpg | 7453,125 | 100% |
| 44 | 15P.jpg | 15P.jpg | 23906,25 | 100% | 15P.jpg | 7500 | 100% |
| 45 | 16P.jpg | 16P.jpg | 11703,125 | 100% | 16P.jpg | 7453,125 | 100% |
| 46 | 17P.jpg | 17P.jpg | 30484,375 | 100% | 17P.jpg | 7437,5 | 100% |
| 47 | 18P.jpg | 18P.jpg | 11859,375 | 100% | 18P.jpg | 7453,125 | 100% |
| 48 | 19P.jpg | 19P.jpg | 18406,25 | 100% | 19P.jpg | 7421,875 | 100% |
| 49 | 20P.jpg | 20P.jpg | 18078,125 | 100% | 20P.jpg | 7968,75 | 100% |
| 50 | 21P.jpg | 21P.jpg | 7625 | 100% | 21P.jpg | 893328,125 | 100% |
| 51 | 22P.jpg | 22P.jpg | 24000 | 100% | 22P.jpg | 7875 | 100% |
| 52 | 23P.jpg | 23P.jpg | 12734,375 | 100% | 23P.jpg | 7984,375 | 100% |
| 53 | 24P.jpg | 24P.jpg | 118765,63 | 100% | 24P.jpg | 32500 | 100% |
| 54 | 25P.jpg | 25P.jpg | 23812,5 | 100% | 25P.jpg | 12515,625 | 100% |
| 55 | 26P.jpg | 26P.jpg | 38625 | 100% | 26P.jpg | 7646,875 | 100% |
| 56 | 27P.jpg | 27P.jpg | 22796 | 100% | 27P.jpg | 7593,75 | 100% |

LAMPIRAN 3. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 3

| No | Citra Postmortem | Metode Fuzzy | | | Metode Tanpa Fuzzy | | |
|----|------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------|-------------------|----------|
| | | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan |
| 1 | 1_5.jpg | 1.jpg | 14046,875 | 96,5 | 1.jpg | 14156,25 | 96,5 |
| 2 | 2_50.jpg | 2.jpg | 6812,5 | 94,8 | 20P.jpg | 1240125 | 96,4 |
| 3 | 3_90.jpg | 3.jpg | 163125 | 99,8 | 3.jpg | 7609,375 | 99,8 |
| 4 | 4_130.jpg | 4.jpg | 16031,25 | 86,61 | 4.jpg | 7187,5 | 87,5 |
| 5 | 5_5.jpg | 5.jpg | 7062,5 | 93,8 | 5.jpg | 7125 | 93,8 |
| 6 | 6_50.jpg | 6.jpg | 6937,5 | 94,3 | 1.jpg | 1240265,6 | 97,1 |
| 7 | 7_90.jpg | 7.jpg | 6818,125 | 99,7 | 7.jpg | 1241125 | 99,8 |
| 8 | 8_130.jpg | 8.jpg | 6812,5 | 92,5 | 8.jpg | 7140,625 | 92,5 |
| 9 | 9_5.jpg | 9.jpg | 6812,5 | 95,5 | 9.jpg | 7484,375 | 95,5 |
| 10 | 10_50.jpg | 10.jpg | 6796,875 | 90,75 | 10.jpg | 7437,5 | 90,7 |
| 11 | 11_90.jpg | 11.jpg | 15640,626 | 99,6 | 11.jpg | 1332859,4 | 99,8 |
| 12 | 12_130.jpg | 12.jpg | 10906,25 | 90,4 | 12.jpg | 12265,625 | 91,2 |
| 13 | 13_5.jpg | 13.jpg | 6812,5 | 92,8 | 13.jpg | 7218,75 | 92,8 |
| 14 | 14_50.jpg | 14.jpg | 6828,125 | 89,9 | 14.jpg | 7359,375 | 89,9 |
| 15 | 15_90.jpg | 15.jpg | 6859,375 | 99,7 | 15.jpg | 7640,625 | 99,7 |
| 16 | 16_130.jpg | 16.jpg | 6843,75 | 92,38 | 16.jpg | 7390,625 | 92,4 |
| 17 | 17_5.jpg | 17.jpg | 6843,75 | 93,4 | 17.jpg | 7468,75 | 93,4 |
| 18 | 18_50.jpg | 18.jpg | 34453,125 | 90,3 | 18.jpg | 7406,25 | 90,7 |
| 19 | 19_90.jpg | 19.jpg | 34421,875 | 99,6 | 19.jpg | 7390,625 | 99,6 |
| 20 | 20_130.jpg | 20.jpg | 27265,625 | 88,25 | 20.jpg | 82843,75 | 84,6 |
| 21 | 21_5.jpg | 21.jpg | 6828,125 | 93,4 | 21.jpg | 7312,5 | 93,4 |
| 22 | 22_50.jpg | 22.jpg | 10906,25 | 92,07 | 22.jpg | 7421,875 | 92 |
| 23 | 23_90.jpg | 23.jpg | 27312,5 | 99,64 | 23.jpg | 7406,25 | 99,7 |
| 24 | 24_130.jpg | 24.jpg | 9609,375 | 88,28 | 24.jpg | 33906,25 | 88,3 |
| 25 | 25_5.jpg | 25.jpg | 1187906,3 | 98,6 | 25.jpg | 6984,375 | 94 |
| 26 | 26_50.jpg | 26.jpg | 9671,875 | 91,1 | 14.jpg | 1154781,3 | 95,1 |
| 27 | 27_90.jpg | 27.jpg | 6843,75 | 99,7 | 27.jpg | 33703,125 | 99,7 |
| 28 | 28_130.jpg | 28.jpg | 6765,625 | 88,6 | 28.jpg | 7078,125 | 88,6 |
| 29 | 0P_5.jpg | 0P.jpg | 6750 | 94,3 | 0P.jpg | 6875 | 94,3 |
| 30 | 1P_50.jpg | 1P.jpg | 6812,5 | 93,1 | 1P.jpg | 7265,625 | 93,1 |
| 31 | 2P_90.jpg | 2P.jpg | 10859,375 | 99,7 | 2P.jpg | 6984,375 | 99,7 |
| 32 | 3P_130.jpg | 3P.jpg | 27203,125 | 93,2 | 3P.jpg | 7421,875 | 93,5 |
| 33 | 4P_5.jpg | 4P.jpg | 10937,5 | 94,4 | 4P.jpg | 7000 | 94,6 |
| 34 | 5P_50.jpg | 5P.jpg | 6765,625 | 95,5 | 5P.jpg | 6921,875 | 95,5 |
| 35 | 6P_90.jpg | 6P.jpg | 21046,875 | 99,7 | 6P.jpg | 7640,625 | 99,8 |
| 36 | 7P_130.jpg | 7P.jpg | 6781,25 | 90,8 | 7P.jpg | 7171,875 | 90,8 |
| 37 | 8P_5.jpg | 8P.jpg | 34250 | 93,8 | 8P.jpg | 7140,625 | 93,9 |
| 38 | 9P_50.jpg | 9P.jpg | 6781,25 | 91,4 | 9P.jpg | 7312,5 | 91,4 |
| 39 | 10P_90.jpg | 10P.jpg | 10875 | 99,7 | 10P.jpg | 7812,5 | 99,7 |

| | | | | | | | |
|----|-------------|---------|-----------|------|---------|----------|------|
| 40 | 11P_130.jpg | 11P.jpg | 6828,125 | 90,1 | 11P.jpg | 7437,5 | 90,1 |
| 41 | 12P_5.jpg | 12P.jpg | 6906,25 | 93,4 | 12P.jpg | 7078,125 | 93,4 |
| 42 | 13P_50.jpg | 13P.jpg | 6812,5 | 94,9 | 13P.jpg | 7343,75 | 94,9 |
| 43 | 14P_90.jpg | 14P.jpg | 10968,75 | 99,7 | 14P.jpg | 7296,875 | 99,7 |
| 44 | 15P_130.jpg | 15P.jpg | 6843,75 | 91,6 | 15P.jpg | 7531,25 | 91,6 |
| 45 | 16P_5.jpg | 16P.jpg | 6765,625 | 94,7 | 16P.jpg | 7156,25 | 94,7 |
| 46 | 17P_50.jpg | 17P.jpg | 27375 | 92,5 | 17P.jpg | 7093,75 | 94,3 |
| 47 | 18P_90.jpg | 18P.jpg | 10906,25 | 99,7 | 18P.jpg | 7093,75 | 99,7 |
| 48 | 19P_130.jpg | 19P.jpg | 10875 | 92,7 | 19P.jpg | 12562,5 | 93,2 |
| 49 | 20P_5.jpg | 20P.jpg | 11062,5 | 93,9 | 20P.jpg | 7390,625 | 94,2 |
| 50 | 21P_50.jpg | 21P.jpg | 27218,75 | 95,3 | 21P.jpg | 7238,125 | 95,3 |
| 51 | 22P_90.jpg | 22P.jpg | 21078,125 | 99,7 | 22P.jpg | 7390,625 | 99,7 |
| 52 | 23P_130.jpg | 23P.jpg | 6812,5 | 93,6 | 23P.jpg | 7265,625 | 93,6 |
| 53 | 24P_5.jpg | 24P.jpg | 10968,75 | 95,4 | 24P.jpg | 7125 | 95,7 |
| 54 | 25P_50.jpg | 25P.jpg | 6781,25 | 94,9 | 25P.jpg | 7468,75 | 94,9 |
| 55 | 26P_90.jpg | 26P.jpg | 34343,75 | 99,6 | 26P.jpg | 7109,375 | 99,7 |
| 56 | 27P_130.jpg | 27P.jpg | 6796,875 | 95,9 | 27P.jpg | 7078,125 | 95,8 |

LAMPIRAN 4. Tabel Hasil Ujicoba Percobaan 4

| No | Citra Postmortem | Metode Fuzzy | | | Metode Tanpa Fuzzy | | |
|----|------------------|--------------|-------------------|----------|--------------------|-------------------|----------|
| | | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan | Hasil | Waktu (Milidetik) | Kesamaan |
| 1 | 1_d.jpg | 1.jpg | 15562,5 | 96,1 | 1.jpg | 13984,375 | 96,1 |
| 2 | 2_d.jpg | 2.jpg | 189250 | 87 | 2.jpg | 1276500 | 98,21 |
| 3 | 3_d.jpg | 3.jpg | 7328,125 | 92 | 3.jpg | 10312,5 | 92,4 |
| 4 | 4_d.jpg | 4.jpg | 137593,75 | 87 | 4.jpg | 7187,5 | 90,3 |
| 5 | 5_d.jpg | 5.jpg | 22734,375 | 95,5 | 5.jpg | 23000 | 95,5 |
| 6 | 6_d.jpg | 6.jpg | 17281,25 | 91,5 | 6.jpg | 1273234,4 | 98,4 |
| 7 | 7_d.jpg | 7.jpg | 10484,375 | 84,8 | 7.jpg | 1254587,5 | 97,1 |
| 8 | 8_d.jpg | 8.jpg | 7343,75 | 96,3 | 8.jpg | 7140,625 | 96,3 |
| 9 | 9_d.jpg | 9.jpg | 1166328,1 | 93,5 | 9.jpg | 1255531,3 | 99 |
| 10 | 10_d.jpg | 10.jpg | 7421,875 | 76 | 10.jpg | 7093,75 | 76 |
| 11 | 11_d.jpg | 11.jpg | 1300687,5 | 95,5 | 11.jpg | 1233015,6 | 97,5 |
| 12 | 12_d.jpg | 12.jpg | 13843,75 | 92,8 | 12.jpg | 6875 | 93,1 |
| 13 | 13_d.jpg | 13.jpg | 7250 | 76,2 | 13.jpg | 6765 | 76,2 |
| 14 | 14_d.jpg | 14.jpg | 7296,875 | 86 | 14.jpg | 288234,38 | 86,7 |
| 15 | 15_d.jpg | 15.jpg | 7343,75 | 90,6 | 15.jpg | 34375 | 90,6 |
| 16 | 16_d.jpg | 16.jpg | 7390,625 | 91,6 | 16.jpg | 6859,375 | 91,6 |
| 17 | 17_d.jpg | 17.jpg | 11703,125 | 91,2 | 17.jpg | 6875 | 91,4 |
| 18 | 18_d.jpg | 18.jpg | 39843,75 | 79 | 18.jpg | 6921,875 | 79,4 |
| 19 | 19_d.jpg | 19.jpg | 38078,125 | 74,9 | 19.jpg | 6984,375 | 75 |
| 20 | 20_d.jpg | 20.jpg | 155375 | 84,9 | 20.jpg | 42984,375 | 87,5 |
| 21 | 21_d.jpg | 21.jpg | 7625 | 85 | 21.jpg | 6890,625 | 85,1 |
| 22 | 22_d.jpg | 22.jpg | 7437,5 | 91,7 | 22.jpg | 6828,125 | 91,7 |
| 23 | 23_d.jpg | 23.jpg | 7546,875 | 79,1 | 23.jpg | 6859,375 | 79,1 |
| 24 | 24_d.jpg | 24.jpg | 7406,25 | 87,6 | 24.jpg | 6769,875 | 87,6 |
| 25 | 25_d.jpg | 25.jpg | 57906,25 | 83,2 | 25.jpg | 10984,375 | 84,5 |
| 26 | 26_d.jpg | 26.jpg | 7421,875 | 86,1 | 26.jpg | 1151218,8 | 97,1 |
| 27 | 27_d.jpg | 27.jpg | 12343,75 | 83,5 | 27.jpg | 6828,125 | 83,2 |
| 28 | 28_d.jpg | 28.jpg | 7656,25 | 90 | 28.jpg | 6796,875 | 90,1 |
| 29 | 0P_d.jpg | 0P.jpg | 11765,625 | 94,7 | 0P.jpg | 6890,625 | 94,7 |
| 30 | 1P_d.jpg | 1P.jpg | 7687,5 | 93,8 | 1P.jpg | 6859,375 | 93,8 |
| 31 | 2P_d.jpg | 2P.jpg | 8125 | 94,1 | 2P.jpg | 6828,125 | 94,2 |
| 32 | 3P_d.jpg | 3P.jpg | 252062,5 | 95,4 | 3P.jpg | 27500 | 94,5 |
| 33 | 4P_d.jpg | 4P.jpg | 7500 | 94,4 | 4P.jpg | 27421,875 | 93,2 |
| 34 | 5P_d.jpg | 5P.jpg | 16906,25 | 94,1 | 5P.jpg | 6921,875 | 94,5 |
| 35 | 6P_d.jpg | 6P.jpg | 22656,25 | 95,5 | 6P.jpg | 1154328,1 | 99,6 |
| 36 | 7P_d.jpg | 7P.jpg | 18500 | 94,2 | 7P.jpg | 9125 | 94,8 |
| 37 | 8P_d.jpg | 6P.jpg | 17484,375 | 86,2 | 6P.jpg | 6684,5 | 87,2 |
| 38 | 9P_d.jpg | 9P.jpg | 47500 | 85,3 | 9P.jpg | 9703,125 | 85,1 |
| 39 | 10P_d.jpg | 10P.jpg | 7703,125 | 90,4 | 10P.jpg | 6671,875 | 90,4 |

| | | | | | | | |
|----|-----------|---------|-----------|------|---------|-----------|------|
| 40 | 11P_d.jpg | 11P.jpg | 12890,625 | 89,3 | 11P.jpg | 6671,875 | 89,6 |
| 41 | 12P_d.jpg | 12P.jpg | 7812,5 | 92,4 | 12P.jpg | 6687,5 | 92,4 |
| 42 | 13P_d.jpg | 13P.jpg | 12250 | 92,8 | 13P.jpg | 6687,5 | 93,4 |
| 43 | 14P_d.jpg | 14P.jpg | 11921,875 | 92,9 | 14P.jpg | 6968,75 | 93,1 |
| 44 | 15P_d.jpg | 15P.jpg | 38546,875 | 86,9 | 15P.jpg | 15375 | 88,5 |
| 45 | 16P_d.jpg | 16P.jpg | 17468,75 | 92,4 | 16P.jpg | 6687,5 | 92,1 |
| 46 | 17P_d.jpg | 17P.jpg | 31093,75 | 91,9 | 17P.jpg | 6828,125 | 93,6 |
| 47 | 18P_d.jpg | 18P.jpg | 7828,125 | 93 | 18P.jpg | 6687,5 | 93 |
| 48 | 19P_d.jpg | 19P.jpg | 17687,5 | 92,5 | 19P.jpg | 10687,5 | 92,8 |
| 49 | 20P_d.jpg | 20P.jpg | 70078,125 | 95,6 | 20P.jpg | 10781,25 | 96,1 |
| 50 | 21P_d.jpg | 21P.jpg | 8062,5 | 88,2 | 21P.jpg | 15343,75 | 87,2 |
| 51 | 22P_d.jpg | 22P.jpg | 17421,875 | 92,4 | 22P.jpg | 6718,75 | 93,2 |
| 52 | 23P_d.jpg | 23P.jpg | 18359,375 | 90,2 | 23P.jpg | 6796,875 | 90,6 |
| 53 | 24P_d.jpg | 24P.jpg | 120312,5 | 90 | 24P.jpg | 26921,875 | 91,9 |
| 54 | 25P_d.jpg | 25P.jpg | 23187,5 | 91,3 | 25P.jpg | 118921,88 | 92 |
| 55 | 26P_d.jpg | 26P.jpg | 12296,875 | 90,8 | 26P.jpg | 6687,5 | 91,4 |
| 56 | 27P_d.jpg | 27P.jpg | 39000 | 94,6 | 27P.jpg | 6687,5 | 95,1 |