

IDENTIFIKASI POLA ENAMEL GIGI MENGGUNAKAN METODE HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT (HOG) DAN SELF-ORGANIZING MAPS (SOM) SEBAGAI APLIKASI DI BIDANG FORENSIK KEDOKTERAN GIGI

IDENTIFICATION ENAMEL RODS USING HISTOGRAM OF ORIENTED GRADIENT (HOG) AND SELF-ORGANIZING MAPS (SOM) AS AN APPLICATION IN FORENSIC ODONTOLOGY

Hasna Nur Afina¹, Dr. Ir Bambang Hidayat, DEA², drg.Yuti Malinda, MM., M.Kes³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

³Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Padjajaran

hnafina@student.telkomuniversity.ac.id, bhidayat@telkomuniveristy.co.id,

yuti.malinda@fkg.unpad.ac.id

Abstrak

Ilmu forensik yang sudah sering digunakan dalam identifikasi individu di Indonesia adalah sidik jari. Namun pada kondisi tertentu pola sidik jari akan tidak layak dan sulit untuk dilakukan pengidentifikasian. Pada perkembangan ilmu forensik kedokteran gigi, email gigi memiliki pola menyerupai pola sidik jari, sehingga dapat digunakan sebagai identifikasi individu yang validitas individu tinggi dan dapat diandalkan. Hal yang menguntungkan mengidentifikasi menggunakan email gigi antara lain : tahan terhadap proses pembusukan, tahan dengan panas, bentuknya jelas dan mudah dikenali, terlindungi oleh bibir dan pipi.

Penelitian ini membahas mengenai teknik untuk mengidentifikasi pola email gigi dengan menggunakan *image processing*. Metode ekstraksi ciri yang digunakan adalah *Histogram of Oriented Gradient* (HOG) dan proses klasifikasi menggunakan metode *Self Organazing Maps* (SOM). Pada prosesnya terdapat 4 tahap utama yaitu akuisisi citra, *preprocessing*, ekstraksi ciri, dan klasifikasi. Penelitian ini diharapkan dapat membantu ilmu forensik kedokteran gigi menggunakan suatu aplikasi berbasis Matlab yang dapat melakukan proses identifikasi individu.

Parameter yang diukur adalah tingkat akurasi dan waktu komputasi. Dengan 100 sampel citra latih dan 200 citra uji, kolaborasi dari metode HOG dan klasifikasi SOM sistem yang dikembangkan sudah mampu melakukan identifikasi enamel rod dan mendapatkan performansi terbaik 79.5% dengan waktu komputasi rata-rata 27.73 detik.

Kata kunci : *Enamel gigi, Histogram of Oriented Gradient (HOG), Self-Organizing Maps (SOM)*

Abstract

Forensic science commonly used for individual identification in Indonesia is fingerprint. But, on certain condition fingerprint cannot be processed properly and hard to identify. On the development of forensic science, tooth enamel has similar pattern to fingerprint that can be used for individual identification with high validity and reliability. The advantages of using tooth enamel for identification are: they rot slowly, they withstand high temperature, the pattern is clear and easy to recognize, and they are protected by lips and cheeks.

This thesis discusses the techniques for identifying tooth enamel patterns by using image processing. Features extraction method used is *Histogram of Oriented Gradient (HOG)* and for classification process used *Self-Organizing Maps (SOM)*. There are 4 main steps process which are image acquisition, image processing, feature extraction, and classification. Hopefully this thesis will be to assist forensic odontology using Matlab that can perform the process of individual identification.

Parameters measured are accuracy and computation time. With 100 samples of training images and 200 samples of testing image, collaboration of HOG and SOM the system has able to identify enamel rods and get the best performance of 79.5% with an average computation time of 27.73 seconds.

Keywords : *Tooth Enamel, Histogram of Oriented Gradient (HOG), Self-Organizing Maps (SOM)*

1. Pendahuluan

Forensik adalah salah satu bidang pengetahuan yang digunakan untuk membantu proses identifikasi seseorang baik itu berdasarkan pada jenis kelamin ataupun usia. Peranan forensik adalah melakukan pemeriksaan terhadap korban dan bukti fisik hasil pemeriksaan digunakan untuk investigasi [1]. Ilmu forensik yang sudah sering digunakan dalam identifikasi individu di Indonesia adalah sidik jari. Namun untuk bencana tertentu, sidik jari sulit untuk diidentifikasi sehingga tidak layak untuk dijadikan bukti fisik. Pada perkembangan ilmu forensik, forensik kedokteran gigi atau odontologi forensik sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi korban pada bencana alam dalam skala besar. Gigi yang tahan terhadap suhu tinggi, terlindungi oleh pipi dan tahan terhadap pembusukan bisa menjadi salah satu alternatif bukti fisik yang dapat diandalkan khususnya ketika terjadi kerusakan pada korban

akibat panas. Pemanfaatan menggunakan pola email gigi sebagai salah satu metode identifikasi yang validitas individu tinggi, karena polanya yang unik dan berbeda pada tiap individu [2].

Struktur enamel gigi merupakan struktur susunan kimia kompleks dengan 97% protein mineral yang hampir seluruhnya hidroksiapatit, tersusun dalam pada protein yang sukar larut. Bagian luar enamel mengalami mineralisasi lebih sempurna dan mengandung banyak fluoride, fosfat dan nitrogen serta lebih sedikit karbonat dan air.

Image processing dalam hal ini dapat membantu dalam mempermudah dan mempercepat proses identifikasi dan klasifikasi dari pola email gigi itu sendiri. Dalam proposal tugas akhir ini digunakan dua buah metode yaitu ekstraksi ciri *Histogram of Oriented Gradient* (HOG) sedangkan untuk proses klasifikasinya menggunakan metode *Self Organizing Maps* (SOM). HOG adalah ekstraksi fitur yang digunakan pada komputer visi dan pengolahan citra dengan cara menghitung nilai gradien pada suatu citra untuk mendapatkan hasil yang akan digunakan saat mendeteksi objek. HOG berfungsi untuk mengekstraksi ciri pada suatu objek gambar dengan cara merubah citra asli gambar ke *grayscale*. Melalui tahapan konversi, *gradient*, *spatial orientation binning*, dan *normalization block* [3]. Sedangkan SOM sendiri adalah memproyeksikan satu atau dua dimensi dengan mempertahankan topologi tersebut untuk mendapatkan hasil yang paling baik [4].

Dari paparan tersebut akan dibuat suatu aplikasi berbasis Matlab untuk mempermudah pengidentifikasian dan klasifikasi pola email gigi. Dengan menggunakan aplikasi Matlab dapat mengetahui tingkat akurasi yang dihasilkan jika menggunakan metode HOG dan SOM. Pembuatan aplikasi ini dimulai dengan pengambilan sampel foto gigi dan mengolah pola email gigi tersebut. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menghasilkan perangkat lunak yang dapat mengidentifikasi menggunakan gigi yang dapat membantu odontologi forensik dengan akurasi yang baik dan penggunaan metode yang tepat.

2. Dasar Teori

2.1 Forensik Odontologi

Kata forensik berasal dari bahasa Yunani yaitu *forensis* atau forum, *forensis* yang artinya pengadilan sedangkan arti forum sendiri adalah suatu tata cara perdebatan di depan umum. Istilah odontologi forensik berasal dari kata Yunani yaitu *odons* yang berarti gigi dan *logos* yang berarti pengetahuan.

Forensik menerapkan ilmu pengetahuan alam seperti kimia, fisika, biologi, kedokteran, psikologi, dan kriminologi. Peranan forensik adalah melakukan pemeriksaan pada korban dan menuangkan hasil pemeriksaan untuk identifikasi. Odontologi forensik termasuk bagian dari ilmu forensik ilmu kedokteran gigi dalam kepentingan peradilan. Ruang lingkup odontologi forensik meliputi identifikasi gigi dan rahang kemudian investigasi *bite-mark* (pola gigitan) [1].

2.2 Enamel Gigi

Manusia mempunyai 32 gigi dengan bentuk yang jelas dan masing-masing memiliki fungsi yang berbeda. Gigi manusia memiliki komposisi bahan organik dan kandungan air yang sedikit. Sebagian besar terdiri dari bahan anorganik sehingga tidak mudah rusak, terletak pada rongga mulut yang terlindungi dari bibir, dan pipi. Sehingga gigi merupakan bahan terkeras dari tubuh manusia.

Keuntungan mengidentifikasi menggunakan email gigi antara lain : tahan terhadap proses pembusukan, bentuknya jelas dan mudah dikenali, terlindungi oleh rongga mulut, dan tahan dengan panas. Gigi yang dipanasi pada 1000°F - 1200°F (538°C - 649°C) akan berubah menjadi abu. Karakteristik gigi yang sangat *individualistic* menjadi salah satu metode identifikasi selain sidik jari dan DNA yang ikut membantu dalam identifikasi seperti jenis kelamin, umur, dan ras [5].

2.3 Computer Vision

Computer Vision didefinisikan sebagai cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari bagaimana mesin mengenali objek yang diamati dan mengekstrak informasi gambar yang diobservasi. *Computer vision* dapat secara otomatis mengintegrasikan sejumlah besar proses untuk persepsi visual karena sifatnya yang mencoba meniru bagaimana cara kerja sistem visual manusia (*human vision*) yang kompleks. Terdapat empat tahap untuk menangkap sinyal visual yaitu *image acquisition*, *image processing*, *image analysis*, dan *image understanding*.

2.4 Histogram of Oriented Gradient

Algoritma *Histogram of Oriented Gradient* (HOG) adalah metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi objek yang menciptakan orientasi gradien dari *pixel* pada suatu citra. Tahap awal metode ini adalah menghitung gradien dari setiap *pixel* pada citra yang akan dibagi menjadi *cell* dan setiap *cell* tersebut dibentuk histogramnya yang digabungkan ke kelompok yang lebih besar yang disebut *block*. Setelah itu, dilakukan normalisasi pada tiap blok [3].



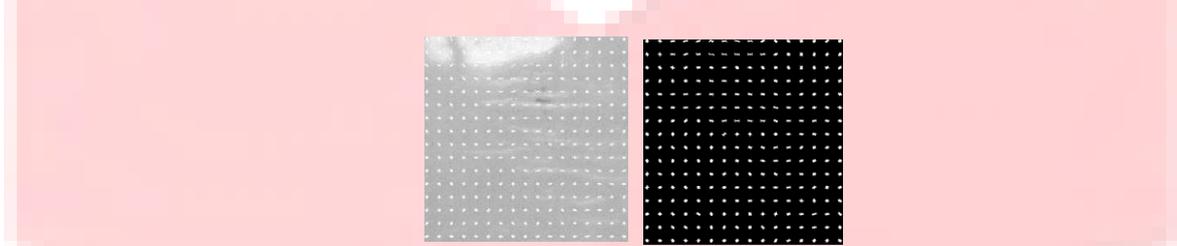
Gambar 1. Langkah-langkah implementasi HOG

Fitur HOG diperoleh dari membagi citra ke dalam sel-sel berukuran $n \times n$, lalu dikelompokkan ke dalam blok yang saling berurutan satu sama lain. Dari tiap sel masing-masing blok, dihitung *magnitude* dan orientasi *gradient*. Berikut adalah rumus *magnitude* (μ) dan orientasi *gradient* (θ) :

$$\mu = \sqrt{Ix^2 + Iy^2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Ix}{Iy}\right) \quad (2)$$

Kemudian nilai orientasi tiap *pixel* dikuantisasi kedalam 9 kanal, yaitu 10°, 30°, 50°, 70°, 90°, 110°, 130°, 150°, dan 170°.



Gambar 2. Contoh fitur HOG yang dihasilkan

2.5 Self-Organizing Maps

JST SOM dikembangkan oleh Prof. Teuvo Kohonen (Finland) yang merupakan model jaringan syaraf tiruan. SOM beroperasi dalam dua mode yaitu pelatihan dan pemetaan. Pelatihan membangun peta dengan menggunakan contoh *input*. Pemetaan secara otomatis mengklasifikasikan vector masukan baru. SOM mampu mempertahankan kemiripan pola masukan agar tidak berubah sampai keluaran proses. Topologi untuk mempertahankan kemiripan pola inilah yang berguna bagi proses pengklasifikasian data, terutama yang jumlahnya besar. Jaringan ini tersusun dari dua buah lapisan (*layer*) berupa *input* dan *output*. Setiap *neuron* dalam lapisan *output* merepresentasikan kelas dari *input* yang diberikan. Pada SOM sejalan dengan proses belajar yang dilakukan dengan mengumpukan data pada vektor masukan dan menghasilkan keluaran jaringan dengan profil *input* yang paling mirip yang telah dikelompokkan ke dalam wilayah yang sama pada lapisan *cluster*. Dalam jaringan SOM, *neuron* target diletakkan dalam 2 dimensi yang topologinya dapat diatur [6]. Terdapat 3 topologi yang dapat dibentuk yaitu *gridtop*, *hextop*, dan *randtop*. *Neuron* di sekitar *neuron* pemenang ditentukan berdasarkan jaraknya dari *neuron* pemenang. Ada 4 macam definisi jarak antara 2 *neuron* yaitu *dist*, *linkdist*, *boxdist*, dan *mandist*.

3. Model dan Perancangan Sistem

3.1 Desain Model Sitem

Cara kerja dari aplikasi secara umum yang dibuat seperti gambar 3 yang ada dibawah ini :



Gambar 3. Diagram alir sistem

3.2 Akuisisi Citra

Akuisisi citra merupakan tahap awal untuk mendapatkan data citra digital. Untuk mendapatkan data citra digital, dilakukan pengambilan gambar *incivisus* (gigi seri) menggunakan kamera Canon EOS 600D dan lensa makro Canon EF 100 mm f/2.8 USM dengan *auto focus*, *aperture* f22, *shutter speed* 1/500 s, ISO 6400, tidak ada *flash* dan mini studio fotografi berukuran 20 X 20 X 20 cm. Data citra digital yang diperoleh mempunyai format **jpg*. Citra yang didapat adalah 300 terbagi menjadi 100 citra latihan dan 200 citra uji.

3.3 Preprocessing

Tahapan *pre-processing* dapat memudahkan tahapan komputasi citra digital untuk proses seperti ekstraksi ciri dan klasifikasi. *Preprocessing* akan menentukan bagian citra yang akan diobservasi serta meningkatkan kualitas citra baik dalam kontras maupun dalam kecerahan. Gambaran umum dari *preprocessing* pada penelitian ini direpresentasikan oleh diagram alir berikut :



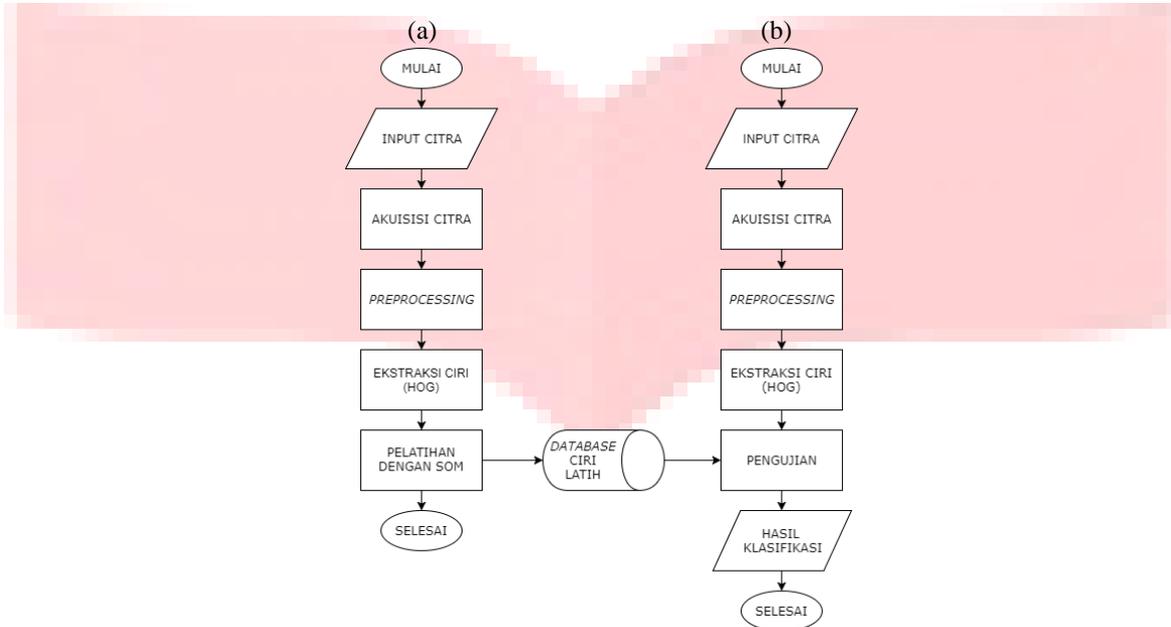
Gambar 4. Diagram alir *preprocessing*

Tahapan *preprocessing* diawali dengan segmentasi untuk menentukan letak *cropping* pada citra. Dalam proses ini citra ditentukan nilai *threshold* untuk mendapatkan batas kanan, kiri, atas, dan bawah. Setelah mendapatkan *crop* yang sesuai, citra RGB diubah menjadi *grayscale* dan ukuran citra diubah menjadi 256x256.

3.4 Ekstraksi Ciri dan Klasifikasi

Pada ekstraksi ciri ini, dilakukan pengambilan ciri bentuk citra untuk melakukan pengenalan pola. Bentuk dari pola email gigi ini sebagai objek yang akan diambil nilainya dengan menggunakan metode HOG. Nilai yang

didapatkan berupa vektor ciri, Kemudian ciri yang didapatkan akan melalui proses klasifikasi. Pada sistem yang dirancang, metode klasifikasi yang digunakan adalah SOM. Proses klasifikasi terbagi menjadi dua yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Diagram alir dari proses klasifikasi direpresentasikan pada Gambar 5 berikut :



Gambar 5. Diagram alir (a) pelatihan (b) pengujian

3.5 Performansi Sistem

Untuk mengevaluasi performansi sistem dilakukan pengujian dengan menghitung tingkat akurasi sistem dan waktu. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan :

1. Akurasi Sistem

Akurasi adalah ukuran ketepatan sistem dalam mengenali masukan yang diberikan sehingga menghasilkan keluaran yang benar. Secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data benar}}{\text{Jumlah data keseluruhan}} \times 100\% \quad (3)$$

2. Waktu Komputasi

Waktu komputasi adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk melakukan suatu proses. Pada sistem ini, waktu komputasi dihitung dengan menggunakan waktu selesai dikurangi dengan waktu mulai sehingga akan diperoleh waktu komputasi sistem. Adapun secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Waktu komputasi} = \text{Waktu selesai} - \text{waktu mulai} \quad (4)$$

4. Pengujian Sistem dan Analisis

4.1 Hasil Pengujian Skenario 1

Pengujian skenario pertama adalah mengetahui pengaruh iluminasi. Dibedakan menjadi dua intensitas pencahayaan yaitu pencahayaan terang dengan lux 3000-4000lx (Lux 1) dan pencahayaan gelap dengan lux 600-1000lx (Lux 2). Pengujian ini dilakukan dengan ukuran citra 256x256 dengan $cellsize = 8 \times 8$, $blocksize = 2 \times 2$, dan $numbins = 9$ untuk parameter HOG. Parameter SOM menggunakan $dimensions [8 \ 8]$, topologi *hextop*, dan jarak *linkdist*. Pada skenario ini dilakukan pengambilan data hingga 200 kali untuk memperoleh nilai yang optimal.

Tabel 1. Hasil Pengujian Lux

| Lux | Akurasi | Waktu Komputasi (s) |
|-----------------------|---------|---------------------|
| Lux 1(3000 – 4000 lx) | 91% | 17.3543 |
| Lux 2 (600 – 1000 lx) | 55% | 18.1367 |

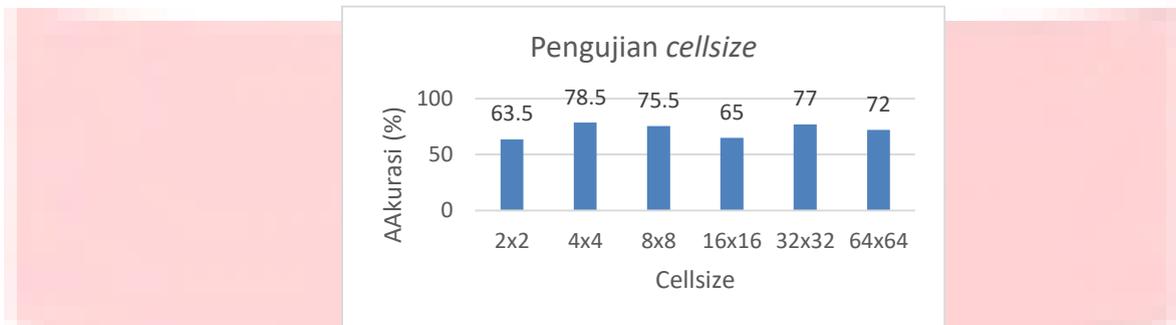
Dari tabel 1 bahwa Lux 1 dengan pencahayaan 3000-4000lx didapat akurasi tinggi yaitu 91% dengan waktu komputasi 17.3543. Semakin besar nilai luxnya maka lebih mudah dideteksi dan tidak membutuhkan waktu lama untuk mengidentifikasi.

4.2 Hasil Pengujian Skenario 2

Pengujian skenario kedua adalah membandingkan parameter pada HOG dengan merubah *cellsize*, *blocksize*, dan bin. Ukuran citra yang digunakan adalah 256x256 dengan parameter klasifikasi yaitu topologi *hextop*, dan jarak *linkdist*.

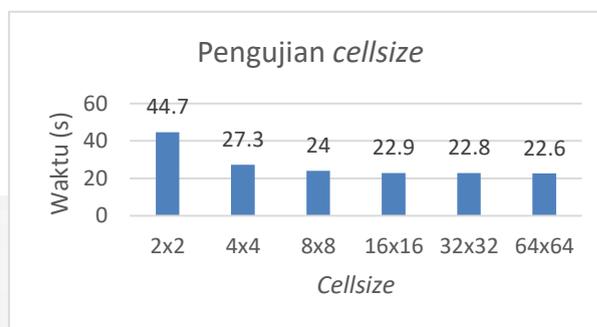
1. Pengujian Pengaruh *Cell Size*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter *cell size* pada HOG terhadap tingkat akurasi dan waktu komputasi sistem.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian akurasi cell size

Dari Gambar 6 menunjukkan nilai akurasi tertinggi berada di *cellsize* 4x4 yaitu 78.5%. Hal ini karena ukuran ini cukup dapat mengkodekan informasi bentuk untuk mengidentifikasi secara visual dan membatasi jumlah dalam vektor ciri pada HOG. *Cellsize* yang melebihi 4x4 *pixel* tidak menghasilkan banyak informasi bentuk, dan *cellsize* yang lebih kecil mengkodekan banyak informasi sehingga meningkatkan dimensi pada vektor ciri HOG [7]

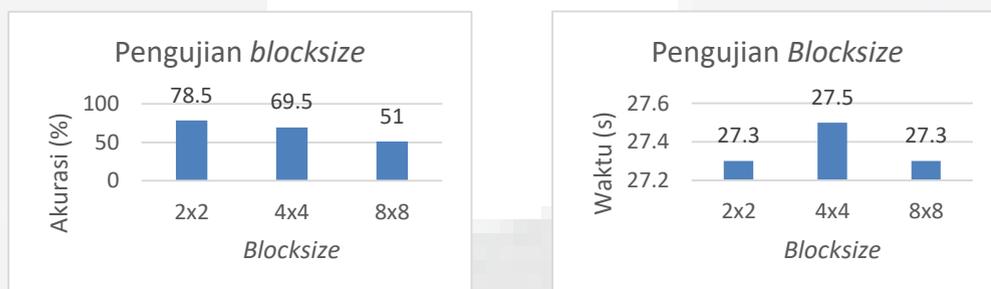


Gambar 7. Grafik hasil pengujian waktu cell size

Perolehan waktu komputasi rata-rata tercepat untuk 200 citra uji adalah 22.6 detik pada *cell* 64x64. Dari Gambar 7 menunjukkan semakin besar *cellsize*, dimensi vektor ciri HOG semakin kecil. Hal ini membantu mempercepat proses pelatihan.

2. Pengaruh Pengujian *Block Size*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter *blocksize* yang ada pada HOG terhadap akurasi dan waktu komputasi.

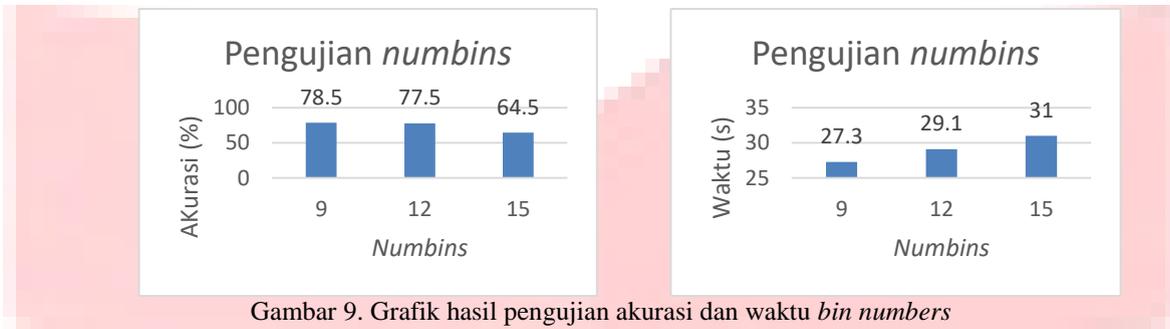


Gambar 8. Grafik hasil pengujian akurasi dan waktu *block size*

Berdasarkan Gambar 8, akurasi tertinggi diperoleh *block size* 2x2 dengan akurasi sistem 78.5% dan akurasi terkecil pada sistem adalah 51% pada *block size* 8x8. Karena jumlah *pixel* di *block size* yang besar akan mengurangi kemampuan untuk menekan perubahan iluminasi. Sedangkan mengurangi *block size* membantu sistem menangkap perbedaan *pixel* [8]. Meskipun dari grafik tersebut terdapat perbedaan waktu antar blok yang sedikit Waktu komputasi tertinggi yaitu 27.5 detik pada *block size* 4x4.

3. Pengaruh Pengujian *Bin Numbers*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *bin numbers* terhadap akurasi dan waktu komputasi. SePerolehan waktu tercepat pada bin 9 dengan waktu 27.3263 detik.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian akurasi dan waktu *bin numbers*

Berdasarkan Gambar 9, pengujian orientasi bin diperoleh akurasi terbaik 78.5% pada bin 9. Hal ini dikarenakan pembagian 9 *channel* pada sistem lebih optimal untuk vektor ciri orientasi HOG pada setiap kelasnya. Untuk waktu komputasi terlihat bahwa semakin besar nilai bin, maka semakin besar waktu komputasi yang dibutuhkan oleh sistem. Karena semakin besar bin dapat meningkatkan ukuran vektor ciri sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memproses setelah pengujian perubahan *cellsize* dan perubahan *blocksize* didapatkan *cellsize* terbaik 4x4 dan *blocksize* 2x2.

4. Pengujian Ciri Statistik

Pengujian ini dibandingkan ekstraksi ciri HOG dari citra yang telah di segmentasi menggunakan ciri statistik. Parameter statistik yang digunakan diantaranya nilai *mean* (μ), *variance* (σ^2), *standard deviation* (σ), *skewness* (α_3), *kurtosis* (α_4), dan *entropy* (H).

Tabel 2. Hasil Pengujian Ciri Statistik

| Ciri Statistik | Akurasi | Waktu Komputasi (s) |
|--|---------|---------------------|
| <i>Mean</i> (μ) | 42.5% | 29.3344 |
| <i>Variance</i> (σ^2) | 41% | 30.0240 |
| <i>Standard Deviation</i> (σ) | 44.5% | 29.7472 |
| <i>Skewness</i> (α_3) | 43.5% | 29.3595 |
| <i>Kurtosis</i> (α_4) | 28% | 28.5243 |
| <i>Entropy</i> (H) | 60.5% | 29.7976 |
| μ, σ^2, σ | 49% | 29.1837 |
| μ, σ, H | 62.5% | 29.0786 |
| σ, α_3, H | 59.5% | 27.4538 |
| All | 77.5% | 29.2566 |

Berdasarkan Tabel 2 tingkat akurasi terbaik pada sistem adalah 77.5% dengan menggunakan 6 kombinasi pada ciri statistik dengan waktu 29.2566 detik. Hal ini dikarenakan ciri tersebut memiliki enam dimensi sehingga nilai ciri lebih spesifik dibandingkan menggunakan kombinasi dimensi yang sedikit.

4.3 Hasil Pengujian Skenario 3

Pada skenario terakhir dilakukan pengujian kombinasi pada fungsi jarak dan topologi unruk mengetahui pengaruh parameter SOM terhadap akurasi dan waktu komputasi terbaik. Menggunakan parameter HOG *cellsize* 4x4, *blocksize* 2x2, dan *Bins* 9.

Tabel 3. Hasil Pengujian Parameter SOM

| Topologi | Jarak | Akurasi | Waktu Komputasi (s) |
|----------------|-----------------|---------|---------------------|
| <i>Hextop</i> | <i>Linkdist</i> | 76.5% | 28.3873 |
| <i>Gridtop</i> | | 79.5% | 27.7328 |
| <i>Randtop</i> | | 76% | 27.8142 |
| <i>Hextop</i> | <i>Dist</i> | 77% | 27.8884 |
| <i>Gridtop</i> | | 72% | 28.0503 |
| <i>Randtop</i> | | 73.5% | 27.8083 |
| <i>Hextop</i> | <i>Mandist</i> | 76% | 27.7914 |
| <i>Gridtop</i> | | 75% | 27.8606 |

| | | | |
|----------------|----------------|-------|---------|
| <i>Randtop</i> | | 74.5% | 27.9739 |
| <i>Hextop</i> | <i>Boxdist</i> | 76.5% | 29.8111 |
| <i>Gridtop</i> | | 78.5% | 27.7231 |
| <i>Randtop</i> | | 75.5% | 27.99 |

Berdasarkan Tabel 3 tingkat akurasi terbaik pada sistem yaitu 79.5% dengan menggunakan topologi *gridtop* dengan jarak *linkdist* dengan waktu komputasi 27.7328 detik. Sedangkan pada jarak *boxdist* akurasi sistem 78.5% dengan waktu komputasi 27.7231 detik. Hal ini dikarenakan topologi yang memiliki bentuk beraturan memiliki bobot yang tinggi. Sedangkan pada fungsi jarak, yang memiliki neuron tetangga disekitar neuron pemenang memiliki bobot yang tinggi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem sudah mampu mengidentifikasi pola enamel gigi menggunakan metode HOG dan klasifikasi SOM dengan tingkat akurasi mencapai 79.5% dengan waktu komputasi rata-rata 27.7328 detik.
2. Parameter HOG yang dapat mengoptimalkan sistem adalah *cell* 4x4 dengan akurasi 78.5% dengan waktu komputasi 27.32 detik. Untuk parameter *block size* digunakan yang kecil 2x2, dan bin terbaik pada pengujian yaitu 9. Pada pengujian statistic akurasi tertinggi adalah 77.5% pada kombinasi *mean*, *variance*, *standard deviation*, *skewness*, *kurtosis*, dan *entropy*.
3. Parameter SOM yang optimal saat pengujian adalah menggunakan topologi *gridtop* dan fungsi jarak *linkdist* mendapatkan tingkat akurasi sebesar 79.5% dengan waktu komputasi 17.7328 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem identifikasi pola enamel gigi dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, dan direkomendasikan sebagai berikut :

1. Menggunakan algoritma yang lebih sederhana sehingga dapat mengurangi waktu komputasi.
2. Memilih gigi seri yang tidak licin dan tidak mengalami kerusakan agar pola enamel gigi dapat lebih terlihat
3. Proses akuisisi citra yang lebih optimal.
4. Menggunakan tahap *preprocessing* lain yang lebih baik agar mendapatkan bentuk informasi yang lebih baik pada tahap ekstraksi ciri.
5. Menggunakan metode yang berbeda untuk mendeteksi pola enamel gigi, agar dapat dibandingkan metode mana yang lebih baik.

Daftar Pustaka :

- [1] W. G. Eckert, Introduction to Forensic Sciences 2nd Editon, 1980.
- [2] C. A. Pol, *Scanning Electron Microscopic Analysis of Incinerated Teeth : An Aid to Forensic Identification*, vol. 18.
- [3] N. Dalal and B. Triggs, "Histogram of Oriented Gradient for Human Detection," *Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, 2005.
- [4] F. Fauziah, "Sistem Penerjemah Huruf Korea Ke Huruf Latin dan Bahasa Indonesia Berbasis Pengolahan Citra Digital dan Jaringan Syaraf Tiruan Self-Organizing Map (SOM)," Bandung, 2012.
- [5] Murniawati, "Peran Rekam Medik Gigi sebagai Sarana Identifikasi," Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Andalas, Padang, 2012.
- [6] R. C. Erari, "Simulasi Sistem Identifikasi Suara Manusia Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Self-Organizing Maps (SOM)," Bandung : Telkom University, 2014.
- [7] "The MathWorks, Inc.," [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/digit-classification-using-hog-features.html?> [Accessed 17 Desember 2018].
- [8] "The MathWorks, Inc.," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/extracthogfeatures.html>. [Accessed 17 Desember 2017].