

Penggunaan Pencocokan Graf Elastik dalam melakukan Verifikasi Wajah

Mohammad Dimas

1) Jurusan Teknik Informatika ITB, Bandung 40132, email: if17059@students.if.itb.ac.id

Abstract – dari dulu hingga sekarang data yang berisi informasi adalah suatu asset yang harus dilindungi oleh pemiliknya. Berbagai metode diaplikasikan dalam upaya untuk melindungi informasi tersebut, diantaranya yang paling primitive berupa sandi lewat, atau yang sedang populer pada zaman modern ini yaitu berupa pengenalan biometric. biometrik ialah suatu metode identifikasi yang mengacu pada kekhasan tiap individu yang telah dibawa dalam DNA dan kebiasaan sehari-hari. Metode pengamanan yang menggunakan prinsip biometric diantaranya identifikasi sidik jari, identifikasi wajah, identifikasi iris mata, identifikasi suara, dll. Yang menjadi pusat perhatian penulis dalam bahasan makalah ini ialah identifikasi wajah. Makalah ini berisi tulisan mengenai sejarah dan aplikasi biometrik, serta penggunaan pencocokan graf elastik dalam verifikasi wajah.

Kata Kunci: verifikasi wajah, biometric,

1. PENDAHULUAN

Dalam pengamanan berbasis biometric, sebenarnya terdapat metode verifikasi lain seperti verifikasi iris mata dan sidik jari yang lebih akurat dibandingkan dengan verifikasi wajah. Namun yang menjadikan verifikasi wajah lebih menarik ialah bahwa untuk melakukan verifikasi wajah tidak mengharuskan pengguna untuk berinteraksi dengan alat pemindai. Hal tersebut berbeda dengan metode biometric lainnya, misalnya verifikasi sidik jari yang harus meletakkan jari di alat pembaca sidik jari, begitu juga dengan verifikasi iris mata yang mengharuskan pengguna untuk melakukan scanning mata dari jarak dekat untuk memperoleh hasilnya.

Dalam makalah ini akan dibahas verifikasi wajah dengan menggunakan metode pencocokan graf elastic.

2. VERIFIKASI WAJAH

2.1 Sejarah

Biometric bukanlah suatu teknologi baru, karena jauh sebelum digunakannya biometric digital telah digunakan secara populer biometric analog, contohnya tanda tangan dan cap jari.

Pada era setelah perang dunia ke II penelitian militer amerika menemukan biometric voice recognition yang

digunakan untuk mengenali suara pilot pesawat tempur pada saat itu. Pada tahun 1960 Federal Bureau of Investigation (USA) Menemukan Metode pengenalan sidik jari Automate Fingerprint Identification System (AFIS) untuk mengenali dan menganalisa sidik jari tanpa menggunakan sensor. Pada masa itu teknologi biometric masih mahal dan belum digunakan oleh banyak orang. Setelah mulai ditemukannya sensor biometric tahun 1999 maka peralatan biometric menjadi murah dan memungkinkan digunakan banyak orang. Bahkan pada era ini perangkat mobile sekalipun telah mengaplikasikan teknologi verifikasi biometrik.

2.2 Aplikasi

Salah satu aplikasi dari biometric ialah verifikasi wajah. Selain sebagai pengamanan informasi, seperti yang telah disebutkan pada pendahuluan bahwa dengan verifikasi wajah pengguna tidak harus berinteraksi dengan penggunaannya, maka dengan metode verifikasi ini kita dapat mengembangkannya sebagai suatu alat pencari pelaku kejahatan dalam keramaian.

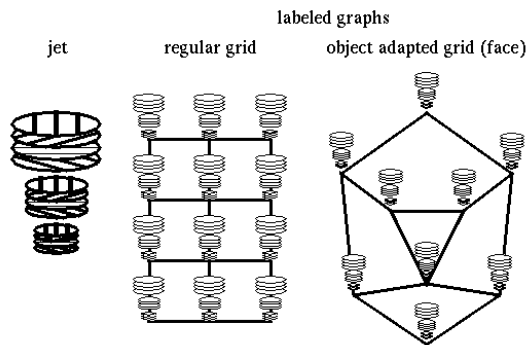
Yang menjadi masalah ialah seberapa cepat dan akurat algoritma pencocokan memproses input yang ada dan juga sejauh mana algoritma tersebut dapat mentoleransi pergeseran posisi wajah serta ekspresi yang timbul pada wajah tersebut.

2.3 Pencocokan Graf Elastik

Pencocokan Graf Elastic ialah proses dasar untuk membandingkan dua atau lebih graf dengan gambar untuk menghasilkan graf baru. Dalam versi yang terdasar satu graf berbobot dicocokkan ke suatu gambar. Graf berbobot itu memiliki berapa *nodes* atau simpul yang terletak pada titik-titik tertentu pada gambar yang menjadi acuan, contohnya ialah pada mata, hidung, dll. Peletakkan simpul tersebut berdasarkan intensitas gelap-terang gambar tersebut. Simpul-simpul tersebut memiliki nilai bergantung intensitas warnanya, sehingga dari gambar 2D itu dapat tercipta sebagai bentuk 3D yang punya nilai ketinggian.

Graf tersebut dijadikan suatu graf acuan yang kemudian disimpan, untuk kemudian dibandingkan dengan graf lainnya yang merupakan hasil pencocokan gambar berikutnya. Hasil verifikasi

didasari atas kesamaan nilai yang diperoleh pada graf pertama dan graf ke dua. Derajat kesamaan gambar atau wajah yang akan dicocokkan bergantung pada kesamaan nilai pada graf baru dan graf acuan.



Gambar 1. Labeled graph

2.4 Sistem

2.4.1 Pra proses dengan Gabor Wavelets

Dalam proses verifikasi wajah yang didasarkan pada pencocokan graf, kita harus mengubah gambar masukan menjadi Gabor Wavelet dengan melakukan transformasi sebelum gambar tersebut dapat dipasang graf.



Gambar 2. Gabor wavelets

2.4.1.1 Jet

Jet menggambarkan nilai gelap terang suatu titik pada gambar (I_x) di sekitar titik atau *pixel* $x=(x,y)$. penentuan jet ini dilakukan pada gambar yang telah ditransformasikan menjadi gabor Wavelet, yang didefinisikan sebagai:

$$J_j(\vec{x}) = \int I(\vec{x}') \phi_j(\vec{x} - \vec{x}') d^2 \vec{x}'$$

Persamaan 1

Dengan kaitannya dengan Inti Gabor:

$$a_j(\vec{x}) = \frac{k_j}{|\vec{x}|} \cdot \left(-\frac{k_j^2}{|\vec{x}|^2} \right) \cdot \cos(\phi_j - \phi_j - \phi_j) \cdot \left(-\frac{\sigma_j^2}{|\vec{x}|} \right)$$

Persamaan 2

Dalam suatu bidang dengan vector gelombang k , kita akan mendiskritisasinya menjadi 5 frekuensi berbeda,

dengan indeks $v=0,1,2,3,4$ dan 8 orientasi $\mu=0,1,\dots,7$.

$$\vec{k}_j = \begin{pmatrix} k_{jx} \\ k_{jy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_v \cos \varphi_\mu \\ k_v \sin \varphi_\mu \end{pmatrix}, \quad k_v = 2^{-\frac{v+2}{4}} \pi, \quad \varphi_\mu = \mu \frac{\pi}{8}$$

Persamaan 3

Dikarenakan Inti Gabor menyerupai gelombang, maka koefisiennya akan bervariasi bergantung dari frekuensinya. Hal tersebut menyebabkan permasalahan saat melakukan perbandingan jets, dikarenakan sedikit pergeseran akan menyebabkan koefisien yang sangat berbeda. Pada nantinya, saat membandingkan jet, pergeseran tersebut dapat diperhitungkan untuk memperoleh hasil yang akurat, atau juga dapat diabaikan untuk memperoleh hasil yang cepat.

2.4.1.2 Perbandingan Jet

Langkah berikutnya ketika kita telah memperoleh jet, ialah membandingkannya. Dikarenakan dalam proses didapatkannya jet dapat terjadi pergeseran, maka akan terdapat perbedaan koefisien pada jet itu, walaupun jet tersebut dimaksudkan merepresentasikan lokasi yang sama pada suatu gambar. Hal tersebut dapat menyebabkan permasalahan pada proses membandingkannya. Apakah pergeseran tersebut akan diperhitungkan atau diabaikan akan mempengaruhi hasil akhirnya. Fungsi pencocokan yang mengabaikan pergeseran itu :

$$S_\alpha(J, J') = \frac{\sum_j \alpha_j a_j'}{\sqrt{\sum_j \alpha_j^2 \sum_j \alpha_j'^2}}$$

Persamaan 4

Digunakan dalam(LADES ET AL., 1993). Dengan jet J diambil sebagai acuan dan jet $J' = J'(x)$ yang diambil pada variable x , $S(J, J'(x))$ adalah persamaan dasar yang tidak memperhitungkan pergeseran sehingga prosesnya dapat berlangsung dengan cepat.

Pencocokan yang ke dua ialah yang memperhitungkan pergeseran. Pencocokan ini memiliki dua keuntungan, yang pertama, dapat membedakan dua jet yang memiliki nilai hamper sama, ia dapat membandingkan jet dengan sangat akurat. Misalkan dua buah jet, J dan J' mengacu pada lokasi dengan sedikit pergeseran sebesar d , proses pencocokan dapat diperkirakan pergeseran kesamaannya dengan fungsi:

$$S_\phi(J, J') = \frac{\sum_j \alpha_j a_j' \cos(\phi_j - \phi_j - d \vec{k}_j)}{\sqrt{\sum_j \alpha_j^2 \sum_j \alpha_j'^2}}$$

Persamaan 5

untuk menghitungnya, pergeseran d harus diestimasi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengambil nilai maksimal dari S dalam *Ekspansi Taylor* (fungsi di atas).

2.4.1.3 Perkiraan Pergeseran

Untuk memperkirakan pergeseran vector $d=(dx,dy)$, seperti yang telah disinggung di atas, kita harus membuat nilai S menjadi maksimum dalam persamaan *Taylor*:

$$S_{\phi}(J, J') \approx \frac{\sum_j \alpha_j \alpha'_j [1 - 0.5(\phi_j - \phi'_j - d^T k_j)^2]}{\sqrt{\sum_j \alpha_j^2 \sum_j \alpha_j'^2}}$$

Persamaan 6

Agar nilainya maksimum, maka turunannya harus sama dengan nol

$$\vec{d}(J, J') = \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \frac{1}{\Gamma_{xx}\Gamma_{yy} - \Gamma_{xy}\Gamma_{yx}} \times \begin{pmatrix} \Gamma_{yy} & -\Gamma_{yx} \\ -\Gamma_{xy} & \Gamma_{xx} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \end{pmatrix}$$

Persamaan 7

Jika $I_{xx}I_{yy} - I_{xy}I_{yx} \neq 0$, maka

$$\begin{aligned} \Phi_x &= \sum_j \alpha_j \alpha'_j k_{jx} (\phi_j - \phi'_j), \\ \Gamma_{xy} &= \sum_j \alpha_j \alpha'_j k_{jx} k_{jy}, \end{aligned}$$

Persamaan 8

Pergeseran yang didapat mungkin perlu ditambah atau dikurangkan dengan 2π agar hasilnya terletak pada range $\pm\pi$.

Persamaan tersebut merupakan metode untuk memperkirakan pergeseran antara dua jet yang diambil dari objek dengan lokasi yang cukup dekat dan mungkin berdempetan. Tanpa penurunan lebih lanjut, persamaan tersebut dapat menemukan pergeseran dengan besar hingga setengah dari panjang gelombang dari frekuensi tertinggi, yang mana besarnya adalah dua piksel untuk $ko=\pi/2$. Dan jangkauan nilainya dapat ditingkatkan dengan menggunakan frekuensi rendah. Untuk inti terbesar, pergeseran terbesar sekitar 8 piksel. Saat akan dihitung dengan frekuensi yang lebih tinggi, koefisien frekuensi dalam persamaan harus dikalikan dengan 2π untuk memperoleh hasil dengan akurasi mendekati akurasi pada frekuensi rendah. Hasil yang diperoleh nantinya akan berada pada range yang lebih besar dari $\pm\pi$.

Kita mengacu pada sejumlah frekuensi yang digunakan pada pergeseran pertama sebagai fokus. Fokus 1 menunjukkan bahwa hanya frekuensi terendah

yang dapat dipergunakan dalam menghitung pergeseran dan diperkirakan besar pergeserannya dapat mencapai 8 piksel. Fokus 5 menunjukkan bahwa 5 level dapat digunakan, dan pergeseran hanya sebesar hingga dua piksel.

Jika kita dapat memperoleh beberapa jet, maka kita dapat memprosesnya secara iteratif. Misalkan, jet pertama J diletakkan pada gambar pada posisi x_o . Jet berikutnya yaitu $J_o=J(x_o)$ akan memiliki pergeseran sebesar $d_o=d(J, J(x_o))$. Kemudian diperoleh J_1 yaitu jet pada posisi $x_1=x_o+d_o$, kemudian dihitung lagi pergeserannya. Pergeseran yang didapat akan lebih kecil nilainya dibandingkan pergeseran pertama, sehingga nilai yang diperoleh akan lebih mendekati posisi aslinya.

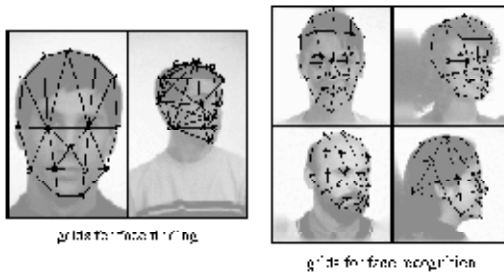
2.4.2 Representasi Wajah dengan Graf Elastik

2.4.2.1 Pendeskripsian Grafik Manual

Terdapat tiga tahap dalam melakukan pendeskripsian graf. Pertama kita harus menentukan titik acuan pada gambar yang diberikan. Titik titik ini biasanya ditentukan pada bagian wajah yang mudah untuk ditemukan, contohnya ialah pupil mata, bibir, hidung, telinga, dan dagu. Titik titik tersebut dipilih dikarenakan akan memudahkan dalam pengerjaan tahap berikutnya. Titik titik berikutnya dapat juga diletakkan diantara titik titik yang telah ditemukan sebelumnya. Hal tersebut dapat memungkinkannya penemuan titik titik baru secara otomatis saat titik titik yang terdefinisi tidak dapat ditemukan. Selanjutnya dari titik titik tersebut diberi nilai sesuai dengan posisinya. Selanjutnya transformasi Gabor Wavelet dapat menemukan jet pada gambar tersebut.

Secara umum, titik titik tersebut akan berada pada keseluruhan wajah subjeknya, tapi hal tersebut bergantung pada tujuan dari pengenalan wajah itu sendiri, apakah untuk menemukan orang atau untuk melakukan pencocokan wajah sebagai *password*. Untuk yang bertujuan melakukan pencarian, maka titik titik pada bagian terluar wajah akan menjadi lebih banyak, hal tersebut dikarenakan dalam pencarian orang bentuk kepala yang diperoleh dengan meletakkan titik titik di bagian terluar wajah sudah dapat merepresentasikan subjek yang dicari. Hal itu berbeda jika tujuan yang ingin dicapai ialah pencocokan wajah, maka titik titik itu akan menjadi lebih banyak pada bagian dalam wajah.

Semakin banyak titik yang diletakkan, maka semakin tinggi akurasi pencocokan. Namun dengan bertambahnya titik titik, maka proses penghitungan menjadi lebih rumit yang berdampak pada waktu pengerjaan yang menjadi lebih lama.



2.4.2.2 The Graph Similarity Function

Kunci penting dalam Pencocokan Graf Elastik adalah kemampuan fungsi pencocokan yang akan mencocokkan graf dari acuan dan graf dari subjek. Hal tersebut bergantung pada kecocokan antar jet yang berbeda namun merepresentasikan lokasi yang sama. Untuk gambar GI dengan titik $n=1, \dots, N$, dan garis penghunung $e=1, \dots, E$, dan model graf $m=1, \dots, M$, fungsi kesamaan ialah:

2.4.2.3 Prosedur Pencocokan

Keberhasilan dalam Pencocokan Graf Elastik ini adalah untuk menemukan titik titik pada gambar, dan memaksimalkan kesamaan antara gambar acuan dengan gambar sampel. Dalam aplikasinya hal tersebut harus dapat dilakukan dalam waktu yang secepat mungkin. Pada pengujiannya gambar sampel akan berada pada posisi yang berbeda beda, apakah itu ukuran, maupun posisi wajah pada gambar sampel.

Langkah 1: menemukan perkiraan posisi wajah. Tentukan titik titik pada wajah, pada tahap ini persamaan yang dilakukan ialah persamaan kesamaan yang tidak memperhitungkan pergeseran, $\lambda = \infty$. Pencarian diulangi berkali kali hingga ditemukan titik yang paling mendekati titik pada graf acuan, dan titik tersebut akan dijadikan untuk tahap berikutnya.

Langkah 2: tentukan posisi dan ukuran. Dari titik yang didapatkan pada langkah satu dicari titik titik baru pada posisi $(\pm 3, \pm 3)$ piksel. Hal tersebut dilakukan pada fokus 1. Grid yang nantinya diperoleh ditransformasikan untuk meminimalisasi pergeseran dari gambar acuan.

Langkah 3: tentukan ukuran dan aspek rasio. Cara yang dilakukan hampir sama pada langkah sebelumnya, tapi focus yang digunakan dari 1 sampai 5.

Langkah 4: distorsi. Dalam pengambilan sampel penentuan titik titik pada gambar akan sangat mungkin bila berbeda beda. Transformasi terhadap jet dapat dilakukan dalam rangka mempertinggi tingkat kemiripan. Sekarang pada fungsi kesamaan λ diset sebesar 2 dan digunakan vektor x_e yang diperoleh pada persamaan tiga.

2.4.3 Pengenalan

Setelah mendapatkan graf dari wajah yang ingin dikenali maka proses pengenalan dapat dilakukan dengan membandingkan antara graf dari sampel dan graf dari gambar acuan. Persamaan kemiripan berikut akan membandingkan graf dengan cara membandingkan masing masing jet antara yang di sampel dengan yang di acuan. jika G^I adalah gambar sampel dan G^M adalah gambar acuan, dan titik n_n , mengacu pada n' pada gambar acuan, maka persamaan pencocokannya:

$$S_G(G^I, G^M) = \frac{1}{N'} \sum_{n_n'} S_a(J_{n_n}^I, J_{n_n'}^M),$$

Persamaan 9

Pada persamaan kecocokan tersebut menggunakan persamaan kesamaan tanpa memperhitungkan pergeseran. Hal tersebut menyebabkan adanya variasi ekspresi dan variasi posisi tidak diperhitungkan. Pada proses pencarian orang dengan sejumlah sampel, maka semua graf sampel akan dibandingkan dengan graf acuan dan akan diurutkan hasilnya berdasarkan kemiripannya dengan graf acuan.

2.5 Percobaan

2.5.1 Databases

Pada percobaan yang dilakukan digunakan gambar dari dua database. Gambar tersebut terdiri dari berbagai pose.

Database yang pertama adalah ARPA/ARL FERET database yang disediakan militer US. Pose yang disediakan adalah depan, miring, dan menyamping. Pada gambar gambar tersebut tidak ada perbedaan jenis rambut dan pakaian, serta latar belakangnya selalu sama untuk setiap sampel. Ukuran wajahnya berbeda sedikit untuk masing masing sampel. Ukuran gambar aslinya ialah 256x384 piksel. Pada wajah yang menghadap depan, masing masing sampel menunjukkan ekspresi yang berbeda beda.

Database ke dua diambil dari Institut for Neural Computattion in Bochum. Pose yang disediakan adalah depan, dan rotasi 11° dan 22° , rotasi tersebut diperkirakan dengan menghitung jarak antar mata (Thomas maurer, personal communication, 1996). Pada gambar yang menghadap depan, terdapat gambar dengan ekspresi dengan ekspresi yang berbeda.

Percobaan dilakukan dengan mengambil salah satu gambar sebagai acuan, dan kemudian mengambil gambar yang tersisisa sebagai sampel.



Gambar .

2.5.2 Hasil

2.5.2.1 FERET Database

Model	Pose angle	Feret rank		G. rank	
		#	%	#	%
250 f	0°	103	88	147	82
250 h	15°	103	87	147	82
250 p	0°	110	84	147	82
170 f + 2° hr	15°	44	15	25	23
170 f + 2° hr	22°	22	5	37	27
170 f + 2° pr	15°	2	1*	20	22

Tabel 1

tabel di atas merupakan pencocokan antar gambar, (f merupakan tampak depan, a dan b, h merupakan menghadap serong, l kiri, r kanan, dan p menghadap kiri atau kanan, l kiri, dan r kanan.

2.5.2.2 Bochum Database

Model gallery	Probe images	Feret system		G. system	
		Feret rank #	Feret %	G. rank #	G. rank %
100 f	100 f	95	95	95	95
100 f	100 1°	95	95	95	95
100 f	100 2°	92	92	95	95

Tabel 2

Tabel di atas menggambarkan hasil dari pencocokan sampel. F berarti depan, a netral, dan b dengan ekspresi, nilai yang terdapat pada tabel pada kolom #, adalah jumlah kecocokan antara sampel dengan acuan. hasil tersebut diperoleh dari Wiskott ET Al, 1997.

2.5.2.3 Akurasi Pencocokan

Untuk menambah akurasi pencocokan harus digunakan persamaan kesamaan yang memperhitungkan pergeseran. Thomas Maurer telah melakukan pencocokan pada sampel dari database Bochum. Akurasi dihitung dengan rerata jarak *Euclid* antara posisi pencocokan. Dan didapatkan bahwa jaraknya 1.6 dengan menghitung pergeseran, dan 5.2 dengan tanpa menghitung pergeseran.

Dikarenakan penempatan titik awal graf dilakukan

secara manual, maka keakuratan tidak akan lebih kecil dari satu piksel. Hal tersebut dikarenakan penempatan titik secara manual dilakukan pada frekuensi rendah. Dengan demikian penempatan secara manual memungkinkan hasil yang diperoleh tidak akurat.

Untuk meningkatkan ketelitian, Maurer melakukan pengujian pada wajah sampel yang berbeda 22° dengan posisi tampak depan. Pada percobaan pertama ia menggunakan penempatan titik awal graf secara manual, dan pada percobaan ke dua dengan menggunakan fungsi kesamaan tanpa memperhitungkan pergeseran, dan yang ke tiga dilakukan dengan persamaan kesamaan yang memperhitungkan pergeseran. Hasilnya ialah keakuratan metode manual 89%, metode dengan memperhitungkan pergeseran 88%, dan metode tanpa pergeseran 67%. Hal tersebut menunjukkan bahwa akurasi pencocokan den fungsi kesamaan yang tidak menghitung pergeseran.

Hal tersebut dikarenakan dengan banyaknya faktor x pada gambar sampel, maka dengan turut dihitungnya pergeseran akan menghasilkan keakuratan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak memperhitungkannya.

Pada penelitian lain tentang pengenalan wajah terdapat metode yang juga berdasarkan pada gabor jet, namun dengan algoritma yang lebih simpel. Tes yang sama dilakukan pada 108 gambar dari database Bochum, dan hasilnya menyebutkan bahwa pencocokan dengan menggunakan pencocokan dengan memperhitungkan pergeseran paling akurat. Namun, hasil yang diperoleh pada wajah menghadap depan dan diputar 11°, mengasilkan keakuratan sebesar 92% dan 94%. Pada wajah yang diputar 22°, metode awal(pencocokan manual, pencocokan m=dengan memperhitungkan pergeseran, dan pencocokan tanpa memperhitungkan pergeseran) menghasilkan akurasi sebesar 88% sedangkan metode lain yang lebih simpel hanya menghasilkan keakuratan sebesar 81%.

3. KESIMPULAN

Pencocokan wajah bukanlah merupakan metode yang paling akurat dalam melakukan pengamanan data, namun metode ini memiliki kelebihan dalam kemampuannya untuk melakukan pencarian wajah. Dalam melakukan pencocokan wajah salah satu metode yang dilakukan ialah pencocokan graf elastik. Pencocokan inipun memiliki banyak variasi. Variasi pertama didasarkan apakah pencocokan wajah dilakukan atas tujuan apa, apakah untuk melakukan pencarian atau untuk melakukan verivikasi. Jika untuk melakukan verivikasi titik titik graf akan lebih banyak pada dalam wajahm sedangkan dalam pencarian wajah maka titik titik mayoritas akan berada pada bagian terluar wajah. Variasi berikutnya ialah pencocokan dengan perbedaan fungsi kesamaan yang digunakan,

diantaranya, dengan meletakkan titik acuan secara manual, dengan menggunakan fungsi kesamaan yang tidak menghitung pergeseran, dan dengan menggunakan fungsi kesamaan yang menghitung pergeseran. Akurasi tertinggi didapat dengan menggunakan fungsi kesamaan yang memperhitungkan pergeseran yaitu hingga 88% pada perbandingan sambel yang dirotasi sebesar 22° .

DAFTAR REFERENSI

[1]http://en.wikipedia.org/wiki/Facial_recognition_system-3 januari

[2]<http://itb.biologie.huberlin.de/~wiskott/Projects/ElasticGraphMatching.html>-3 januari

[3]<http://vismod.media.mit.edu/tech-reports/TR-516/node7.html>-2 Januari

[4]<http://www.face-rec.org>-4 januari

[5] <http://itb.biologie.huberlin.de/~wiskott/Projects/EGMFaceRecognition.html>- 3 januari

[6] <http://itb.biologie.huberlin.de/~wiskott/Projects/Jet.html>-3 Januari