

Transformasi Ruang 2D Ke 3D Pada Animasi Wajah Berbasis Data Marker Menggunakan *Radial Basis Function*

Troy¹⁾, Pranowo²⁾

Magister Teknik Informatika
Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
e-mail: 155302474@students.uajy.ac.id¹⁾, pran@mail.uajy.ac.id²⁾

Abstrak

Teknik komputasi yang dikembangkan pada animasi wajah bertujuan untuk menciptakan ekspresi pada wajah karakter animasi senatural mungkin seperti layaknya ekspresi pada wajah manusia. Menggunakan data marker pada citra 2D wajah manusia, komputer menangkap pergerakan marker tersebut kemudian menentukan lokasi titik fitur yang pada wajah model 3D (karakter animasi).

Untuk mengatasi perbedaan morfologi pada wajah manusia yang menjadi sumber acuan ekspresi dengan wajah model 3D yang menjadi target animasi, maka diterapkan transformasi ruang *Radial Basis Function* (RBF). RBF digunakan untuk menentukan posisi titik fitur pada wajah model 3D berdasarkan posisi titik marker pada citra 2D wajah manusia.

Transformasi ruang RBF memiliki kemampuan yang baik dalam pemetaan ulang titik marker dari wajah manusia ke titik fitur pada wajah karakter animasi. Pergerakan yang terjadi pada wajah model 3D berdasar pada skala relatif antara titik marker pada citra 2D wajah manusia dengan titik fitur pada wajah model 3D.

Kata kunci: animasi wajah, *radial basis function*, data marker.

Abstrak

Computer facial animation aims to create an animated character expression as natural as possible as well as human facial expressions. Using the data marker catches facial motion capture, will be determined the location of the feature points of 3D face models to follow the motion of the marker points of human faces.

To overcome the morphological differences between the face of the source with the character's face, then applied with radial basis retargeting process mapping so that the character's face can still display the natural expression. Using the data marker 2D, Radial Basis Function (RBF) space transformation was applied to determine the position of the feature points on the 3D face models.

RBF space transformation has good ability in determining the appropriate facial motion marker points on a human face to the character's face. Motion that occurs in 3D face models is scaled according to the relative scale between the source and the target.

Keywords: facial animation, radial basis function, marker data.

Pendahuluan

Manusia memiliki kemampuan untuk melihat serta merasakan ekspresi yang natural maupun tidak natural dari manusia lain. Terlebih jika manusia melihat ekspresi pada karakter animasi. Untuk menciptakan ekspresi yang natural pada karakter animasi, perubahan gerak pada wajah untuk baik itu gerakan dagu, dahi, pipi maupun bibir ketika berbicara sangat perlu diperhatikan. Ekspresi wajah memainkan peran utama dalam bidang komunikasi nonverbal (Chin et al., 2013). Untuk menciptakan naturalitas pada ekspresi karakter animasi, maka dilakukan *motion capture* pada wajah manusia. Kemudian model wajah karakter animasi digerakan berdasarkan pergerakan wajah manusia.

Motion capture bertujuan untuk menangkap posisi dan orientasi dari suatu objek dalam suatu ruang nyata kemudian merekam informasi yang akan digunakan dan dikembangkan di dunia maya (Bennett & Carter, 2014) (Na & Jung, 2004). Dua tantangan terbesar bagi penggunaan data *motion capture* terletak pada pemetaan ulang titik fitur untuk menghadapi bentuk karakter yang berbeda secara morfologi dan skala serta penerapan dalam menciptakan permukaan yang halus, dan (Lorenzo et al., 2003).

Proses pemetaan ulang adalah proses transformasi *marker* berbasis ruang (titik fitur). Pemetaan ulang dapat didefinisikan sebagai proses menentukan lokasi titik *marker* pada wajah karakter animasi berdasar pada perubahan posisi *marker* pada wajah manusia yang terjadi dikarenakan suatu ekspresi. Pemetaan ulang berusaha untuk menciptakan ekspresi pada karakter sesuai dengan ekspresi sumber animasi (wajah manusia) dengan menghubungkan titik penanda pada manusia ke model wajah animasi (Pighin & Lewis, 2006)

Dasar Teori

Ekspresi Wajah

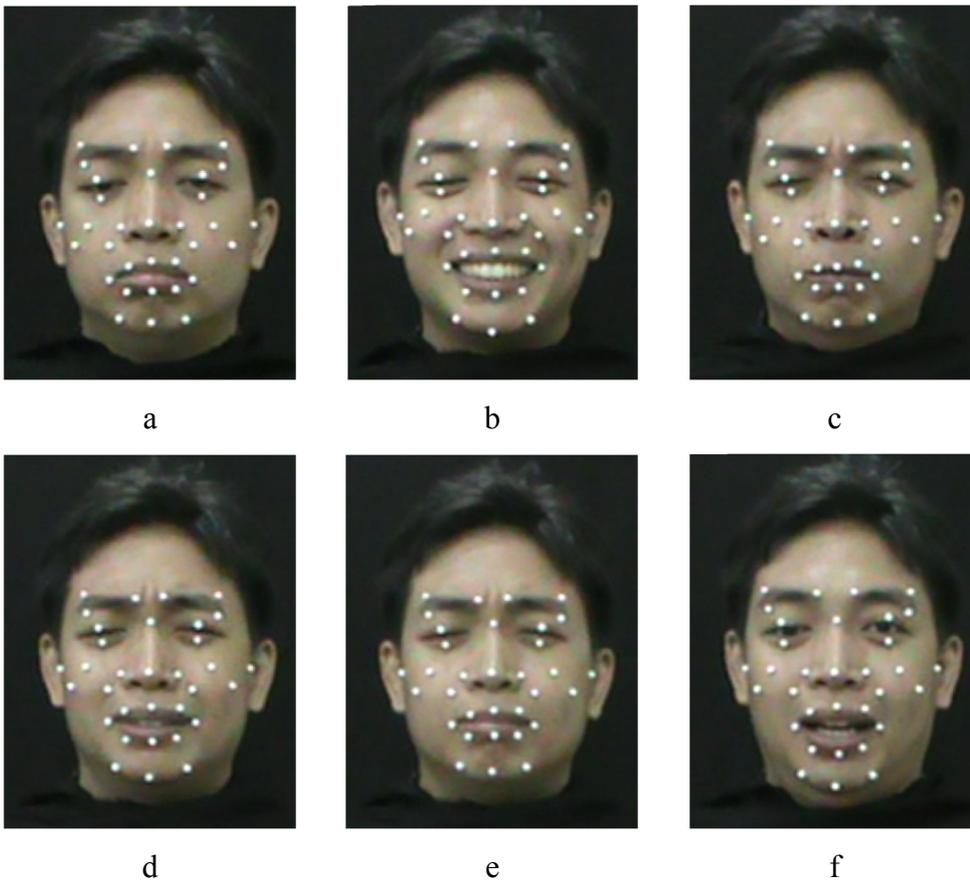
Manusia memiliki kemampuan untuk menampilkan emosi dalam bentuk ekspresi wajah. Terdapat enam ekspresi dasar wajah manusia: sedih, senang, marah, jijik, takut, dan terkejut (Kobayashi et al., 1995). Setiap ekspresi tersebut memiliki perbedaan pada tarikan otot-otot wajah (Tian et al., 2001).

Wajah manusia dapat menunjukkan tanpa ekspresi (Gambar 1) atau juga dikenal sebagai ekspresi diam. Enam ekspresi dasar manusia ditunjukkan pada Gambar

2; gambar a menampilkan ekspresi sedih, gambar b menampilkan ekspresi senang, gambar c menampilkan ekspresi marah, gambar d menampilkan ekspresi jijik, gambar e menampilkan ekspresi takut, dan gambar f menampilkan ekspresi terkejut.



Gambar 1. Ekspresi Diam



Gambar 2. Enam Ekspresi Dasar Wajah Manusia

Facial Action Coding System

Referensi (Ekman & Friesen, 1978) mengembangkan *Facial Action Coding System* (FACS) untuk mendeskripsikan ekspresi wajah manusia. FACS adalah suatu sistem pengamatan manusia yang dirancang untuk mendeskripsikan perubahan dalam fitur wajah, baik perubahan yang besar atau yang kecil sekali pun. FACS terdiri dari 44 *Action Unit* (AU), termasuk untuk posisi kepala dan mata. AU secara anatomi terkait dengan kontraksi otot-otot wajah yang spesifik (Tian et al., 2001). Dalam proses pengamatan AU terbagi menjadi dua, yaitu AU tunggal dan AU yang lebih nyata (Ekman & Rosenberg, 2005). Pengaplikasian AU dalam menampilkan ekspresi wajah untuk emosi yang tepat dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah (Lucey et al., 2010).

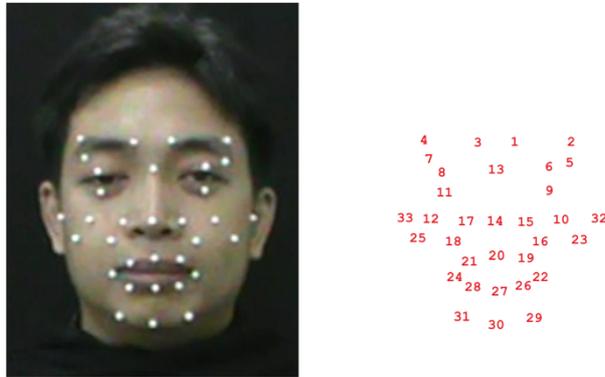
Tabel 1. Deskripsi emosi dalam FACS

Emosi	Kriteria
Sedih	AU1+4+15 atau AU11 harus terlihat pengecualian AU6+15
Senang	AU12 harus terlihat
Marah	AU23 dan AU24 harus terlihat
Jijik	AU9 atau AU10 harus terlihat
Takut	AU1+2+4 harus terlihat Jika AU5 terjadi dengan sangat, maka AU4 dapat diabaikan
Terkejut	AU1+2 atau AU5 harus terlihat

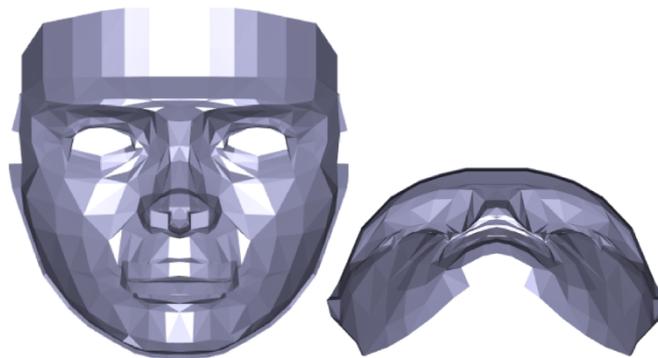
Titik Fitur

Terdapat 33 *marker* yang digunakan untuk menandai titik fitur dalam citra wajah 2D (Gambar 3). Jumlah ini disesuaikan pada pengaturan *motion capture* khusus wajah menggunakan *OptiTrack* (NaturalPoint, Inc., 2008). Penempatan *marker* pada citra wajah 2D dikenali pada lokasi koordinat (x, y) , sedangkan titik fitur pada model wajah 3D (Gambar 4) diletakkan pada koordinat (x, y, z) . *Marker* pada wajah sumber akan berkorelasi dengan 33 titik fitur pada model wajah 3D (Gambar 5). Area gerak

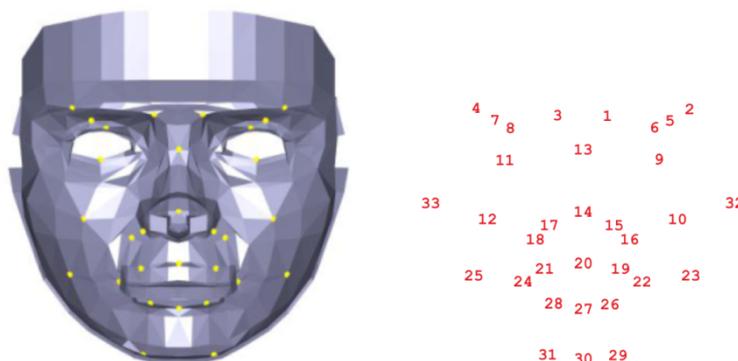
wajah untuk menampilkan ekspresi dihasilkan secara adaptif berdasarkan sebaran titik fitur pada model wajah 3D (Gunanto et al., 2016).



Gambar 3. Wajah Manusia dan Titik *Marker*



Gambar 4. Wajah Model 3D



Gambar 5. Wajah Model 3D dan Titik Fitur

Pemetaan Ulang Titik Fitur

Proses pemetaan ulang adalah proses transformasi *marker* berbasis pada ruang. Pemetaan ulang dapat didefinisikan sebagai proses pemetaan titik fitur dari wajah sumber ke wajah model 3D. Pemetaan ulang berusaha untuk menciptakan ekspresi pada wajah model 3D sesuai dengan ekspresi sumber animasi dengan menghubungkan titik fitur pada sumber animasi ke wajah model 3D (Pighin & Lewis, 2006). Terdapat tiga teknik untuk melakukan pemetaan titik fitur:

a) Linear mapping

Teknik paling sederhana untuk proses pemetaan ulang. Gerakan posisi *marker* pada sumber animasi akan diikuti secara linear oleh wajah model 3D. Pemetaan linear rentan mengalami kegagalan jika wajah model 3D memiliki ukuran dan bentuk (morfologi) yang berbeda dengan wajah sumber animasi.

b) Scatter data interpolation

Merupakan pendekatan non-linear yang mampu menangani berbagai masalah dalam proses pemetaan ulang. Proses interpolasi ini dapat memperkirakan lokasi titik baru pada wajah model 3D jika terdapat perubahan pada wajah sumber dengan memperhatikan nilai bobot (*weight*) antara titik fitur pada wajah sumber animasi dengan wajah model 3D. Teknik yang paling sering diterapkan dalam proses pemetaan ini adalah interpolasi *Radial Basis Function* (RBF).

c) Art direction

Tidak seperti pada kedua teknik di atas, teknik ini membutuhkan campur tangan animator untuk menentukan perubahan titik fitur pada wajah model 3D. Korelasi dan kesesuaian titik fitur antara wajah animasi sumber dengan wajah target animasi didefinisikan oleh animator.

Dengan kondisi wajah manusia dan wajah model 3D yang memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda, transformasi ruang RBF dapat menentukan pergerakan titik fitur pada wajah model 3D sesuai dengan pergerakan titik fitur pada wajah sumber animasi. Gerak titik fitur yang terjadi pada wajah model 3D disesuaikan pada skala relatif antara

titik *marker* pada wajah sumber dan titik fitur pada wajah target animasi (Lorenzo et al., 2003) (Song et al., 2011). Titik *marker* pada wajah sumber animasi mendefinisikan ruang sumber sedangkan titik fitur pada wajah model 3D mendefinisikan ruang target (Dutreve et al., 2008) (Li et al., 2013).

Pemetaan berbasis radial memiliki keunggulan dalam kecepatan untuk menentukan titik pemetaan ulang, terutama jika pemetaan dilakukan pada data *marker*. Penggunaan titik fitur bertujuan untuk meringankan komputasi, dibandingkan jika komputasi dilakukan pada seluruh titik pada permukaan wajah model 3D.

Metode *Radial Basis Function*

Penelitian ini menggunakan citra wajah 2D sebagai sumber animasi dan melakukan proses pemetaan ulang pada wajah model 3D menggunakan transformasi ruang. Proses pemetaan ulang menggunakan metode interpolasi *Radial Basis Function* (RBF). Diharapkan dengan penggunaan transformasi ruang RBF dari 2D ke 3D ini proses menangkap gerak wajah sumber dapat dilakukan dengan menggunakan satu kamera akan tetapi dapat tetap membangun ekspresi yang tepat dan emosi yang natural pada wajah model 3D.

Pada tahun 1970-an, metode RBF dikembangkan dan menjadi metode yang handal untuk membangun fungsi dan untuk memecahkan persamaan diferensial berdasarkan data yang tersebar (Hubbert et al., 2015). Empat rumus RBF yang paling umum adalah *Gaussian* (1), *Inverse Quadratic* (2) *Inverse Multiquadric* (3) dan *Multiquadric* (4). *Multiquadric* merupakan RBF yang paling populer dan digunakan dalam berbagai aplikasi (Chenoweth, 2012).

$$\begin{aligned} \phi(r, \varepsilon) &= e^{-\varepsilon^2 r^2} \dots\dots\dots(1) \\ \phi(r, \varepsilon) &= 1/(1 + \varepsilon^2 r^2) \dots\dots\dots(2) \\ \phi(r, \varepsilon) &= 1/\sqrt{1 + \varepsilon^2 r^2} \dots\dots\dots(3) \\ \phi(r, \varepsilon) &= \sqrt{1 + \varepsilon^2 r^2} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

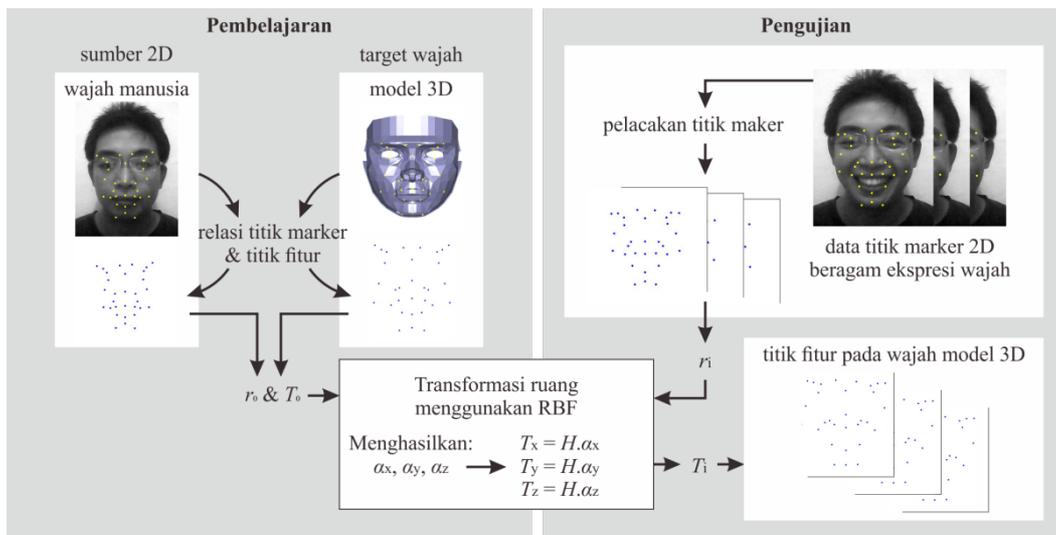
Metodologi Penelitian

Langkah Penelitian

Proses penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu pembelajaran dan pengujian. Pada tahap pembelajaran, titik *marker* pada wajah sumber dengan ekspresi diam disimpan dan dikorelasikan dengan titik fitur pada wajah model 3D yang juga berekspresi diam. Kemudian transformasi ruang RBF menghasilkan bobot tiap titik fitur pada koordinat (x, y, z) .

Pada tahap pengujian, berbagai ekspresi yang menampilkan emosi dari wajah sumber animasi ditangkap pergerakan titik *marker*-nya. Menggunakan bobot yang telah diperoleh pada tahap pembelajaran, kemudian lokasi titik fitur pada wajah model 3D yang telah mengalami pergerakan dapat dipetakan ulang.

Secara skematis, proses transformasi ruang RBF digambarkan sebagai berikut (Gambar 6).



Gambar 6. Skema Transformasi Ruang RBF

Alur Metode RBF

Persamaan RBF yang digunakan adalah sebagai berikut (5):

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi(\|x - x_i\|) \dots \dots \dots (5)$$

Nilai ϕ hanya tergantung pada jarak dari pusat dan dengan demikian disebut radial (6). Radial ini adalah jarak antara titik fitur pada citra wajah 2D.

$$\phi(\|xy_i - xy_j\|) = \sqrt{(\|xy_i - xy_j\|)^2 + r^2} \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan (6) adalah RBF *Multiquadric*. Nilai xy adalah posisi titik *marker* pada koordinat 2D. Menggunakan teorema Pitagoras, jarak antar titik *marker* dapat diketahui. Nilai r ditentukan berdasarkan jarak terpendek dari semua titik *marker* pada wajah sumber animasi (7).

$$r = \min_{i \neq j} (\|xy_i - xy_j\|) \dots\dots\dots(7)$$

Nilai $\phi(\|xy_i - xy_j\|)$ digunakan untuk membangun matriks H. Lalu nilai bobot (α) untuk setiap koordinat (x, y, z) dari wajah model 3D diperoleh (8):

$$T_x = H \cdot \alpha_x, T_y = H \cdot \alpha_y, T_z = H \cdot \alpha_z \dots\dots\dots(8)$$

Jika diketahui $T_x = (t_1^x, t_2^x, t_3^x, \dots, t_n^x)$, $T_y = (t_1^y, t_2^y, t_3^y, \dots, t_n^y)$ and $T_z = (t_1^z, t_2^z, t_3^z, \dots, t_n^z)$, maka dengan menerapkan eliminasi Gauss (*back substitution*) dari (4) diperoleh:

$$\alpha_x = H^{-1} \cdot T_x, \alpha_y = H^{-1} \cdot T_y, \alpha_z = H^{-1} \cdot T_z \dots\dots\dots(9)$$

Setelah matriks H (6) dan bobot masing-masing koordinat (x, y, z) (9) diperoleh, pemetaan ulang titik fitur dapat dihitung dengan cepat untuk setiap posisi titik *marker* berdasar gerakan wajah sumber animasi menggunakan (10).

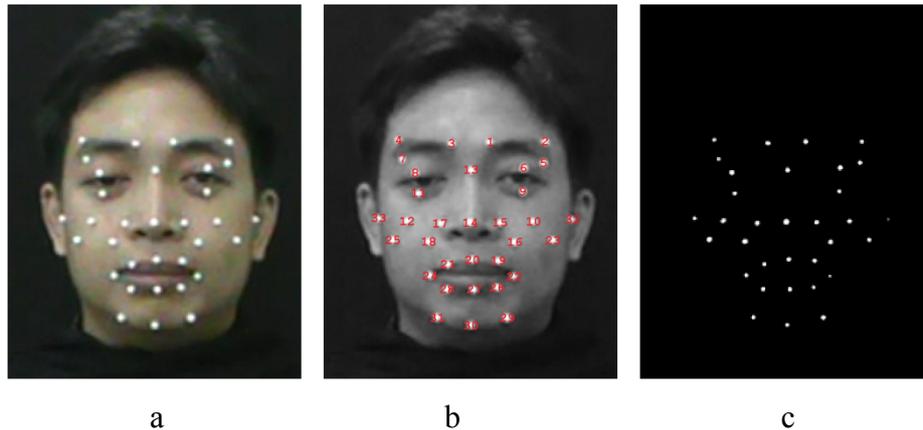
$$\begin{aligned} F(x) &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^x \cdot \phi(\|xy - xy_i\|), \\ F(y) &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^y \cdot \phi(\|xy - xy_i\|), \\ F(z) &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^z \cdot \phi(\|xy - xy_i\|) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

Pada tahap pengujian, citra 2D yang berurutan diekstrak untuk menemukan lokasi titik *marker* pada wajah sumber. Setelah diperoleh nilai jarak radial kemudian nilai bobot (α) serta matriks H (ϕ) dari proses pembelajaran, transformasi ruang RBF akan mengestimasi lokasi (x, y, z) dari titik fitur wajah model 3D. Sehingga wajah model 3D masih memiliki kedalaman dan mempertahankan bentuk 3D-nya.

Pelatihan dan Analisa

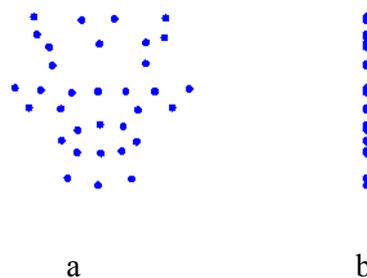
Pengujian transformasi ruang RBF untuk animasi wajah berdasarkan titik *marker* dari sumber 2D ke model wajah 3D akan disajikan sebagai berikut.

Pada tahap pembelajaran, citra wajah manusia berekspresi diam yang telah diberi *marker* (Gambar 7a) diekstrak (Gambar 7b) kemudian untuk diketahui formasi titik *marker* (Gambar 7c) yang membangun ekspresi diam tersebut.

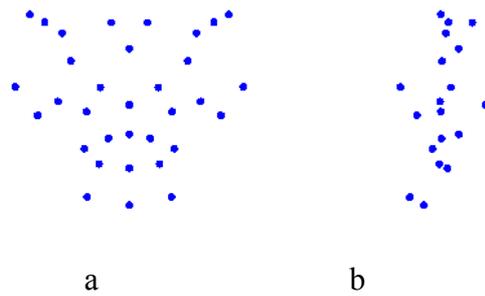


Gambar 7. Citra Wajah Manusia Berekspresi Diam Dengan Titik *Marker*

Pada Gambar 8a, ditunjukkan formasi titik *marker* dari wajah sumber dimana formasi tersebut memberikan informasi lokasi titik *marker* pada koordinat (x, y) tanpa ada kedalaman atau koordinat z (Gambar 8b). Pada Gambar 9a, ditunjukkan formasi titik fitur dari wajah target dimana formasi tersebut memberikan informasi lokasi titik fitur pada koordinat (x, y, z) . Wajah target yang merupakan wajah model 3D memiliki kedalaman, sehingga posisi titik fitur memiliki kedalaman jika dilihat dari samping (Gambar 9b).



Gambar 8. Titik *Marker* Dari Citra Wajah 2D Pada Ekspresi Diam

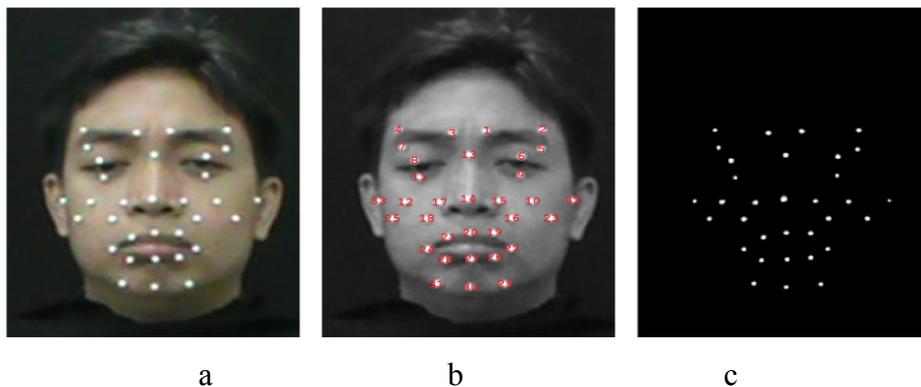


Gambar 9. Titik Fitur Dari Wajah Model 3D Pada Ekspresi Diam

Setelah titik *marker* dari citra wajah 2D dan titik fitur wajah model 3D diketahui, maka dibangun relasi antar titik-titik tersebut.

Setelah melalui tahap pembelajaran, maka diperoleh nilai bobot untuk setiap lokasi titik fitur pada wajah model 3D. Kemudian dilakukan pengujian terhadap wajah model 3D. Pengujian dilakukan dengan memasukkan citra wajah yang memiliki ekspresi yang berbeda dengan citra pada tahap pembelajaran. Titik *marker* pada citra wajah tersebut dilacak ulang gambar untuk kemudian mengetahui lokasi koordinat titik *marker* yang baru. Selanjutnya, transformasi ruang RBF akan mengestimasi koordinat (x, y, z) dari titik fitur untuk wajah model 3D.

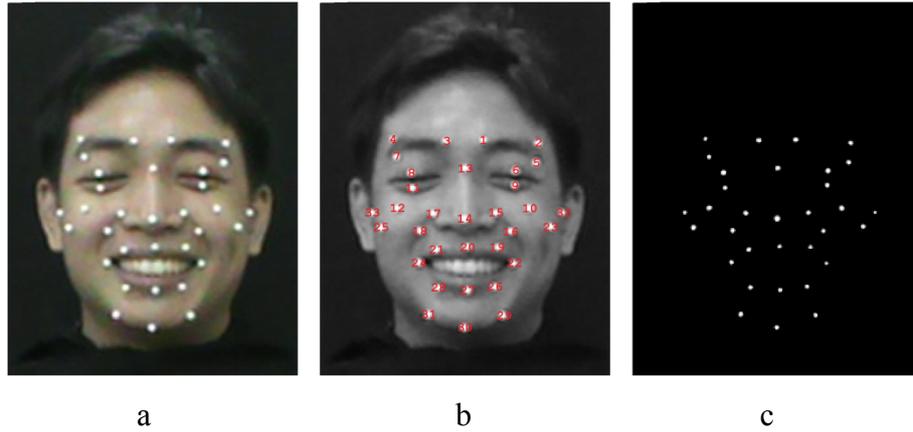
Sebagai bahan uji coba, dimasukkan enam citra wajah dengan ekspresi yang menunjukkan enam emosi dasar manusia; sedih (Gambar 10), senang (Gambar 11), marah (Gambar 12), jijik (Gambar 13), takut (Gambar 14), terkejut (Gambar 15). Yang mana gambar a merupakan citra wajah dengan titik *marker*, gambar b merupakan proses ekstraksi yang terjadi, gambar c merupakan formasi titik *marker* hasil ekstraksi citra wajah.



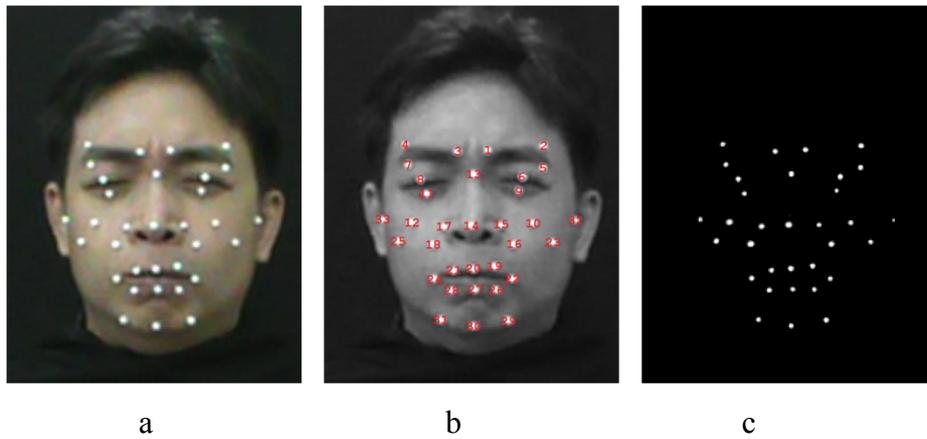
Gambar 10. Citra Wajah Manusia Bereksresi Sedih Dengan Titik *Marker*

Troy, Pranowo

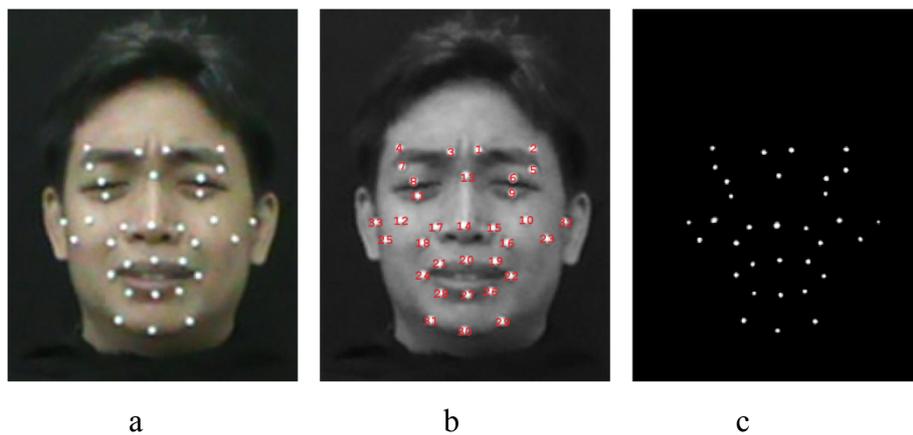
Transformasi Ruang 2D ke 3D Pada Animasi Wajah Berbasis Data Marker Menggunakan *Radial Basis Function*



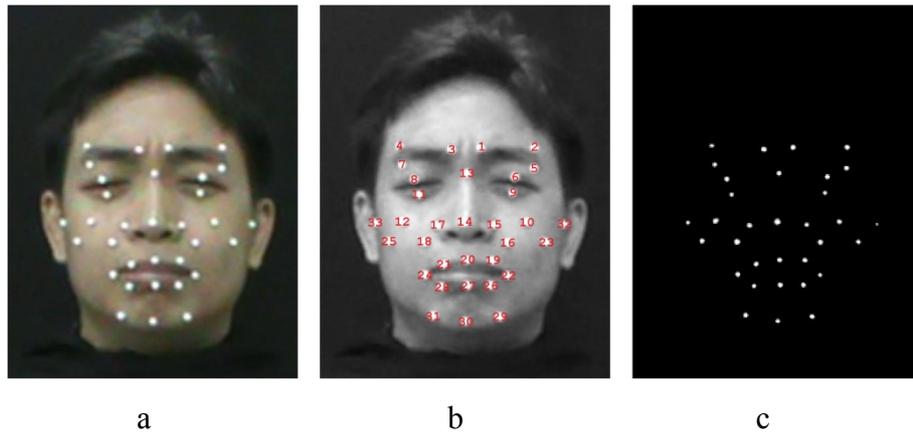
Gambar 11. Citra Wajah Manusia Berekspresi Senang Dengan Titik *Marker*



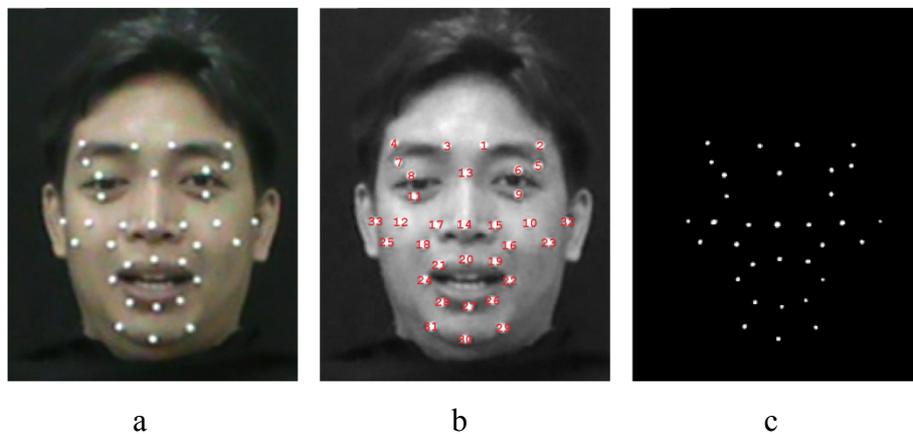
Gambar 12. Citra Wajah Manusia Berekspresi Marah Dengan Titik *Marker*



Gambar 13. Citra Wajah Manusia Berekspresi Jijik Dengan Titik *Marker*



Gambar 14. Citra Wajah Manusia Berekspresi Takut Dengan Titik *Marker*



Gambar 15. Citra Wajah Manusia Berekspresi Terkejut Dengan Titik *Marker*

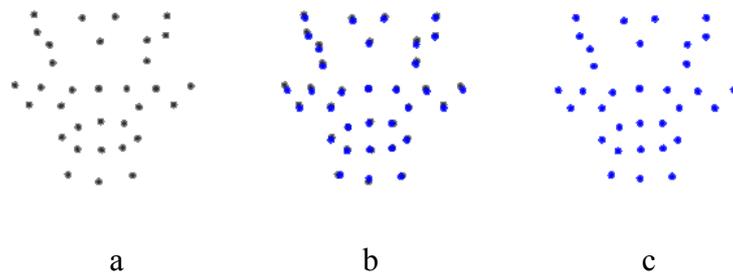
Pengujian dan Validasi

Setelah lokasi titik *marker* diketahui, maka transformasi ruang RBF akan melakukan pemetaan ulang lokasi titik fitur yang baru sesuai dengan citra wajah masukkan.

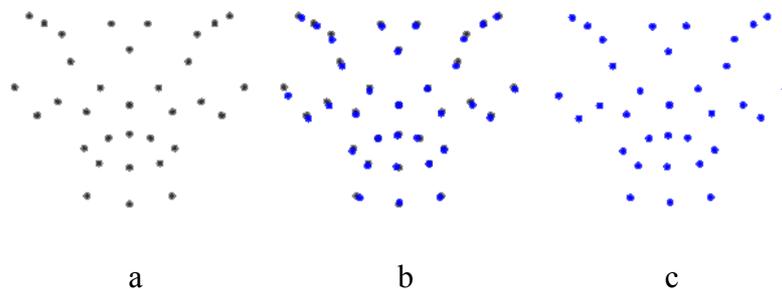
Tiga gambar berikut (Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi sedih. Gambar 16 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi sedih (gambar c). Gambar 17 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 18 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi sedih

(gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

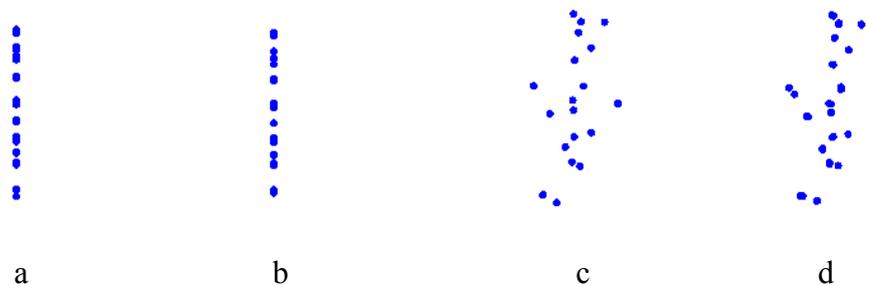
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi sedih memiliki kriteria AU: kombinasi antara alis yang diturunkan dan sudut bibir yang ditarik ke bawah. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 16b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) yang diturunkan dan ujung bibir (22, 24) yang ditarik ke bawah. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 17b) terjadi pergeseran titik fitur pada alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) yang diturunkan dan ujung bibir (22, 24) yang ditarik ke bawah.



Gambar 16. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Sedih



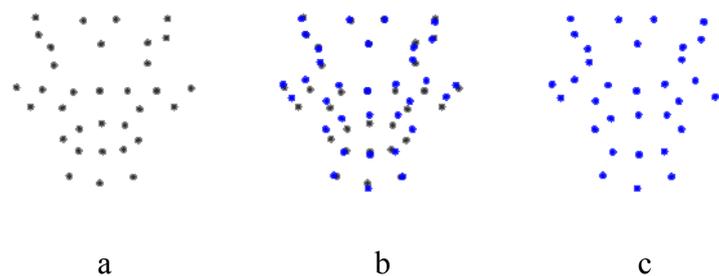
Gambar 17. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Sedih



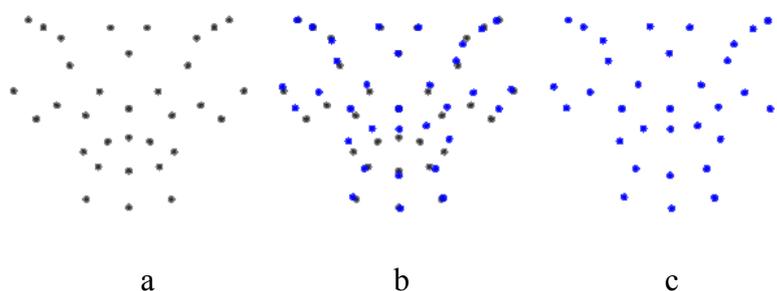
Gambar 18. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Sedih Dilihat Dari Samping

Tiga gambar berikut (Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi senang. Gambar 19 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi senang (gambar c). Gambar 20 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 21 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi senang (gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

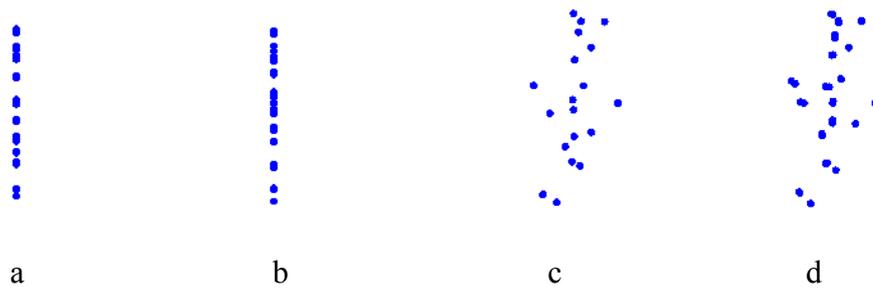
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi senang memiliki kriteria AU: sudut bibir yang ditarik melebar dan naik. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 19b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada ujung bibir (22, 24) yang melebar dan naik. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 20b) terjadi pergeseran titik fitur pada ujung bibir (22, 24) yang melebar dan naik.



Gambar 19. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Senang



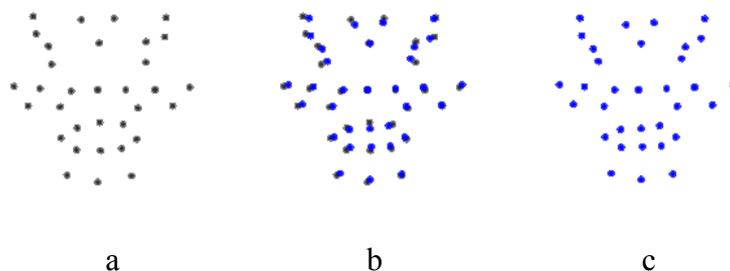
Gambar 20. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Senang



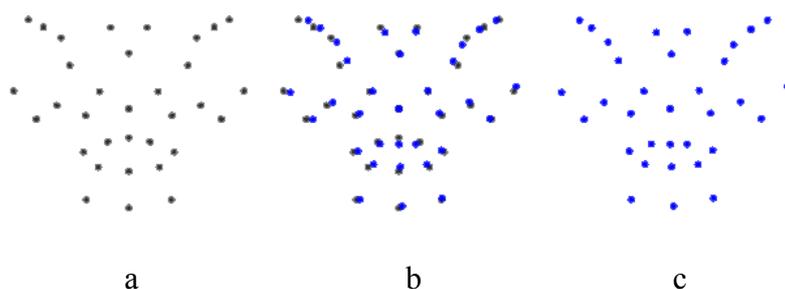
Gambar 21. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Senang Dilihat Dari Samping

Tiga gambar berikut (Gambar 22, Gambar 23 dan Gambar 24) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi marah. Gambar 22 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi marah (gambar c). Gambar 23 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 24 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi marah (gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

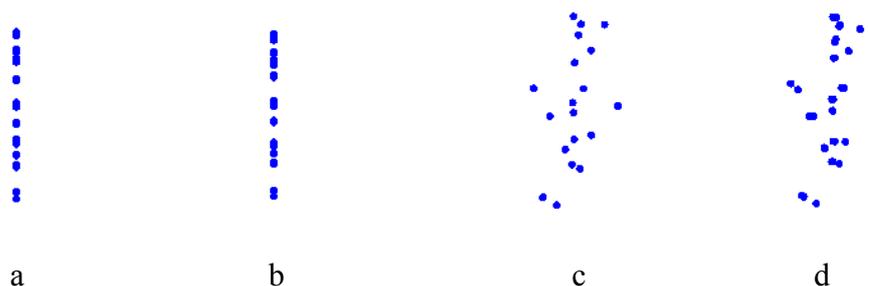
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi marah memiliki kriteria AU: bibir yang rapat dan ditarik ke dalam. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 22b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada lingkaran bibir (19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28) yang rapat dan mengecil. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 23b) terjadi pergeseran titik fitur pada lingkaran bibir (19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28) yang rapat dan mengecil.



Gambar 22. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Marah



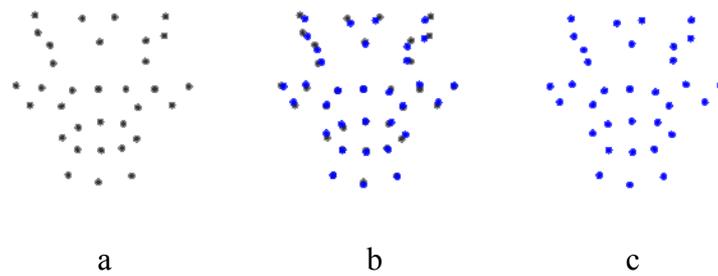
Gambar 23. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Marah



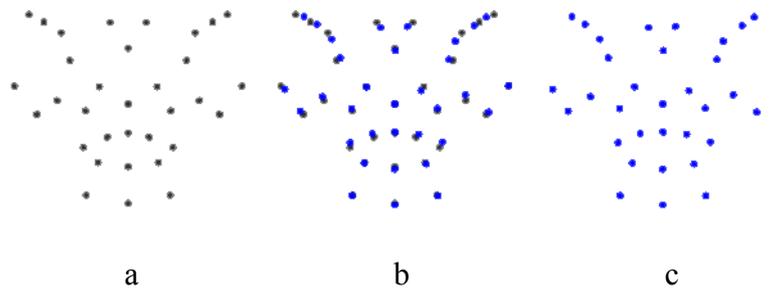
Gambar 24. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Marah Dilihat Dari Samping

Tiga gambar berikut (Gambar 25, Gambar 26 dan Gambar 27) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi jijik. Gambar 25 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi jijik (gambar c). Gambar 26 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 27 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi jijik (gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

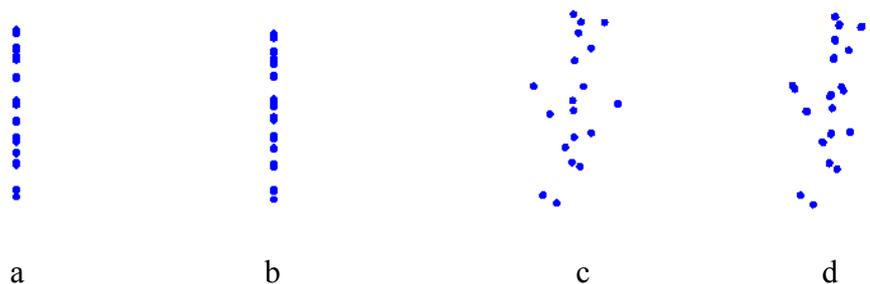
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi jijik memiliki kriteria AU: hidung mengecil dan bibir atas terangkat. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 25b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada area hidung (14, 15, 16, 17, 18) yang merapat dan bibir atas (19, 20, 21) yang dinaikkan. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 26b) terjadi pergeseran titik fitur pada area hidung (14, 15, 16, 17, 18) yang merapat dan bibir atas (19, 20, 21) yang dinaikkan.



Gambar 25. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Jijik



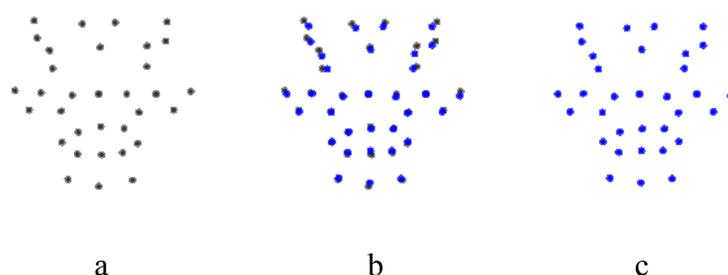
Gambar 26. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Jijik



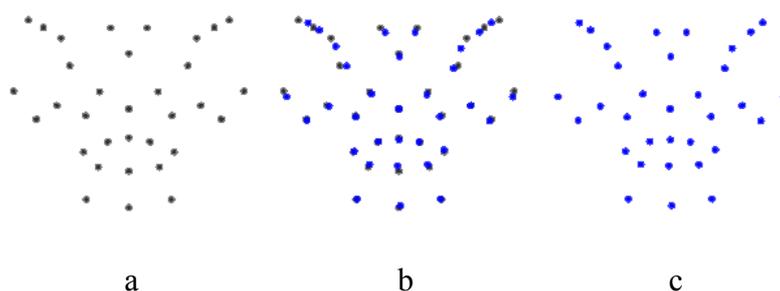
Gambar 27. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Jijik Dilihat Dari Samping

Tiga gambar berikut (Gambar 28, Gambar 29 dan Gambar 30) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi takut. Gambar 28 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi takut (gambar c). Gambar 29 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 30 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi takut (gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

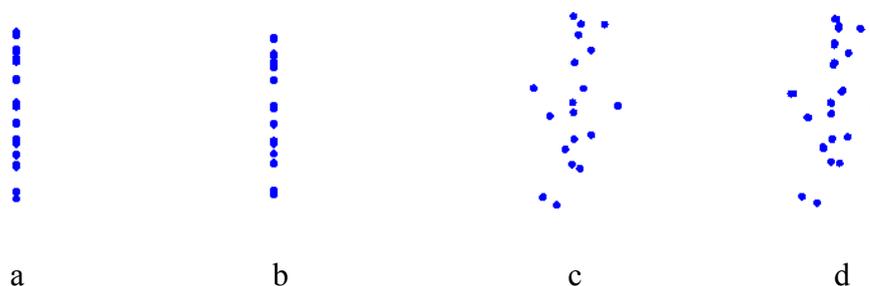
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi takut memiliki kriteria AU: alis yang berkumpul dan diturunkan. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 28b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada alis bagian dalam (6, 8) yang merapat dan alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) yang merendahkan. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 29b) terjadi pergeseran titik fitur pada alis bagian dalam (6, 8) yang merapat dan alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) yang merendahkan.



Gambar 28. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Takut



Gambar 29. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Takut

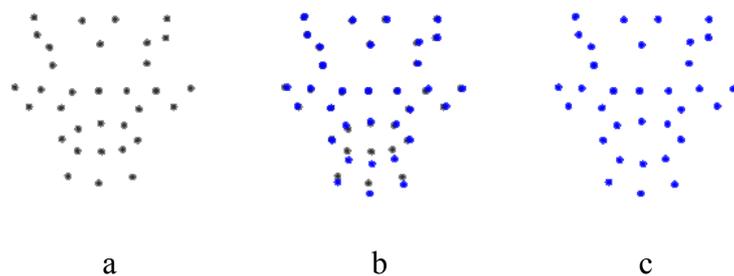


Gambar 30. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Takut Dilihat Dari Samping

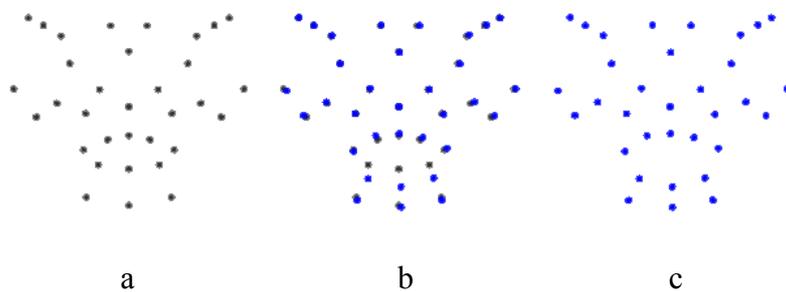
Tiga gambar berikut (Gambar 31, Gambar 32 dan Gambar 33) adalah proses yang terjadi dari perhitungan transformasi ruang RBF pada ekspresi terkejut. Gambar

31 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik *marker* citra wajah 2D dari ekspresi diam (gambar a) ke ekspresi terkejut (gambar c). Gambar 32 menunjukkan pergeseran (gambar b) titik fitur wajah model 3D dari ekspresi diam (gambar a) ke titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar c). Jika dilihat dari samping, Gambar 33 menunjukkan kedalaman dari titik *marker* citra 2D untuk ekspresi diam (gambar a) dan ekspresi terkejut (gambar b) serta titik fitur wajah model 3D untuk ekspresi diam (gambar c) dan titik hasil pemetaan transformasi ruang RBF (gambar d).

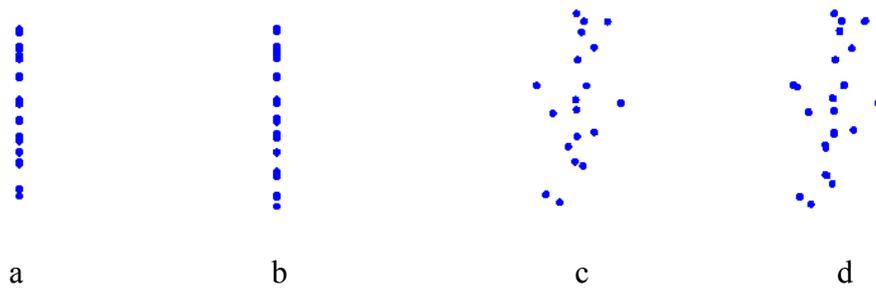
Berdasarkan (Lucey et al., 2010) ekspresi terkejut memiliki kriteria AU: alis yang terangkat dan bibir atas yang naik dan melebar. Pada pergeseran titik *marker* citra wajah 2D (Gambar 31b) ditunjukkan dengan titik *marker* pada alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) dan alis bagian dalam (6, 8) yang naik serta bibir atas (19, 20, 21, 22, 24) yang naik dan melebar. Demikian pula pada hasil transformasi ruang RBF (Gambar 32b) terjadi pergeseran titik fitur pada alis (1, 2, 3, 4, 5, 7) dan alis bagian dalam (6, 8) yang naik serta bibir atas (19, 20, 21, 22, 24) yang naik dan melebar.



Gambar 31. Pergeseran Titik *Marker* Pada Ekspresi Wajah Manusia Terkejut



Gambar 32. Pergeseran Titik Fitur Pada Ekspresi Wajah Model Terkejut



Gambar 33. Pergeseran Titik Pada Ekspresi Terkejut Dilihat Dari Samping

Penutup

Kesimpulan

Transformasi ruang RBF dapat memetakan ulang titik fitur wajah model 3D bahkan jika wajah sumber animasi hanya ditangkap oleh satu kamera dan hanya memberikan informasi titik marker secara 2D.

Berdasarkan hasil evaluasi pada enam ekspresi dasar yang digunakan pada tahap pengujian, transformasi ruang RBF dapat memetakan ulang titik fitur pada wajah model 3D sesuai dengan pergerakan titik marker pada citra wajah 2D yang menjadi wajah sumber animasi. Transformasi ruang RBF dapat mengatasi perbedaan bentuk/morfologi wajah sumber animasi dengan wajah target animasi. Ditunjukkan dengan posisi titik marker pada citra wajah yang tidak simetris ternyata tidak merusak pemetaan ulang titik fitur pada wajah model 3D. Melalui percobaan transformasi ruang ini, proses pemetaan ulang titik fitur pada wajah karakter animasi dapat dilakukan secara otomatis.

Saran

Otomatisasi pemetaan ulang titik fitur wajah karakter animasi dapat dilakukan bukan hanya dengan RBF Multiquadric. Perlu dilakukan penelitian pada metode interpolasi yang lain sehingga didapatkan pemetaan yang lebih sesuai dan mendekati ekspresi wajah sumber animasi. Penelitian ini tidak bisa berhenti hanya pada pemetaan ulang titik fitur pada wajah karakter animasi, namun dilanjutkan pada membangun permukaan wajah karakter animasi. Sehingga ekspresi yang diinginkan dapat terlihat dan diterapkan pada dunia animasi.

Referensi

- Bennett, J. & Carter, C., 2014. Adopting Virtual Production For Animated Filmmaking. In *7th Annual International Conference on Computer Games, Multimedia and Allied Technologies*. Singapore, 2014.
- Chenoweth, M.E., 2012. *A Local Radial Basis Function Method for the Numerical Solution of Partial Differential Equations*. Theses, Dissertations and Capstones, Paper 243.
- Chin, S., Lee, C.Y. & Lee, J., 2013. An automatic method for *motion capture*-based exaggeration of facial expressions with personality types. *Virtual Reality, Springer-Verlag London*, 17, pp.219-37.
- Dutreve, L., Meyer, A. & Bouakaz, S., 2008. Feature Points Based Facial Animation Retargeting. In *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. Bordeaux, France, 2008.
- Ekman, P. & Friesen, W.V., 1978. *The Facial Action Coding System: A Technique For The Measurement of Facial Movement*. San Francisco, CA: Consulting Psychologists Press Inc.
- Ekman, P. & Rosenberg, E.L., 2005. The Study of Spontaneous Facial. In *WHAT THE FACE REVEALS: Basic and Applied Studies of Spontaneous Expression Using the Facial Action Coding System (FACS) 2nd Edition*. Madison Avenue, New York: Oxford University Press. pp.3-18.
- Gunanto, S.G., Hariadi, M. & Yuniarno, E.M., 2016. Feature-Points Nearest Neighbor Clustering on 3D Face Models. In *The 4th International Conference on Information Technology for Cyber IT Service Management (CITSM)*. Bandung, 2016.

- Gunanto, S.G., Hariadi, M. & Yuniarno, E.M., 2016. Generating Weight Paint Area on 3D Cartoon-Face Models. *INFORMATION - An International Interdisciplinary Journal*, 19.
- Gunanto, S.G., Hariadi, M. & Yuniarno, E.M., 2016. Improved 3D Face fp-NN Clustering Using Orthogonal Face Map. *Advanced Science Letters*, 22.
- Havaldar, P., 2000. Performance Driven Facial Animation. In *ACM SIGGRAPH*. New York, 2000.
- Hubbert, S., Gia, Q.T.L. & Morton, T.M., 2015. *Spherical Radial Basis Functions, Theory and Applications*. Cham Heidelberg New York Dordrecht London: Springer.
- Kobayashi, H., Tange, K. & Hara, F., 1995. Real-time Recognition of Six Basic Facial Expressions. In *4th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*. Tokyo, Japan, 1995. IEEE.
- Li, B., Zhang, Q., Zhou, D. & Wei, X., 2013. Facial Animation Based on Feature Points. *TELKOMNIKA*, 11(3), pp.1697-706.
- Lorenzo, M.S., Edge, J.D., King, S.A. & Maddock, S., 2003. Use and Re-use of Facial Motion capture Data. *Vision, Video, and Graphics*, pp.1-8.
- Lucey, P. et al., 2010. The Extended Cohn-Kanade Dataset (CK+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. San Francisco, CA, 2010. IEEE.
- Na, K. & Jung, M., 2004. Hierarchical retargeting of fine facial motions. *Eurographics*, 23(3).

Troy, Pranowo

Transformasi Ruang 2D ke 3D Pada Animasi Wajah Berbasis Data Marker Menggunakan *Radial Basis Function*

NaturalPoint, Inc., 2008. *arena expression: 7-step quick start guide*. [Online] Available

at: http://www.optitrack.com/static/documents/Expression_Quick_Start_Guide.pdf [Accessed 8 April 2016].

Pighin, F. & Lewis, J.P., 2006. *Facial Motion Retargeting*. course notes Performance-driven Facial Animation. SIGGRAPH.

Seol, Y. et al., 2011. Artist Friendly Facial Animation Retargeting. *ACM Transactions on Graphics (Article 162)*, 30(6).

Song, J., Choi, B., Seol, Y. & Noh, J., 2011. Characteristic facial retargeting. *Comp. Anim. Virtual Worlds*, 22, pp.187-94.

Tian, Y., Kanade, T. & Cohn, J.F., 2001. Recognizing Action Units for Facial Expression Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(2), pp.97-115.

Umenhoffer, T. & Tóth, B., 2012. Facial animation retargeting framework using radial basis. In *Sixth Hungarian Conference on Computer Graphics and Geometry*. Budapest, 2012.

Zhu, L. & Lee, W.-S., 2007. Facial Animation with *Motion capture* Based on Surface Blending. *GRAPP*, AS/IE.