

Transformasi Ruang 3D Pada Animasi Ekspresi Wajah Avatar Berbasis *Radial Basis Function*

3D Space Transform on Facial Animation of life-like Avatar Based on Radial Basis Function

Matahari Bhakti Nendya*¹, Eko Mulyanto Yuniarno²

¹Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Duta Wacana

²Departemen Teknik Komputer, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: didanendya@ti.ukdw.ac.id¹, ekomulyanto@ee.its.ac.id²

Abstrak

Salah satu teknik pembentukan animasi wajah pada avatar dengan menggunakan ulang animasi yang ada baik dari animasi avatar lain atau animasi dari data gerak yang diperoleh menggunakan *facial motion capture*. Penelitian ini berfokus pada transformasi ruang 3D untuk pembentukan animasi wajah pada avatar dalam game atau film animasi. Transformasi dilakukan dari data motion capture ke dalam model wajah avatar 3D dengan 3 model wajah yaitu model wajah manusia, model wajah angsa dan model wajah anoman. Data motion capture ditransfer sesuai dengan titik fitur model wajah. Hasil yang didapatkan titik fitur model wajah akan memiliki animasi yang sesuai dengan data motion capture. Dari 3 model wajah target yang digunakan, hasil animasi dengan registrasi pada model wajah manusia memiliki rata-rata simpangan baku 0,0510. Pada model wajah angsa memiliki rata-rata simpangan baku 0,0034 dan pada model wajah anoman memiliki rata-rata simpangan baku 0,0024. Dengan teknik ini diharapkan pembentukan animasi ekspresi wajah pada avatar dapat dilakukan dengan lebih cepat karena adanya penggunaan kembali (*reuse*) dari data *facial motion capture*.

Kata Kunci: animasi wajah, avatar, data motion capture, transformasi ruang 3D, radial basis function.

Abstract

One technique for forming facial animations on avatars is by reusing existing animations, either from other avatar animations or animations from motion data obtained using facial motion capture. This research focuses on the transformation of 3D space for the formation of facial animations on avatars in games or animated films. The transformation is carried out from motion capture data into a 3D avatar face model with 3 face models, namely the human face model, the swan face model and the anoman face model. The motion capture data is transferred according to the feature points of the face model. The results obtained by the facial model feature points will have animations that match the motion capture data. Of the 3 target face models used, the animation results with registration on the human face model have an average standard deviation is 0,0510. The goose face model has an average standard deviation is 0.0034 and the anoman face model has an average standard deviation is 0,0024. With this technique, it is hoped that the formation of facial expression animation on Avatar can be done more quickly because of the reuse of facial motion capture data.

Keywords: facial animation, life-like avatar, motion capture data, 3D space transform, radial basis function.

Pendahuluan

Bentuk dari penggunaan karakter digital adalah avatar. Avatar berperan sebagai representasi personal seseorang dalam dunia digital. Bentuk representasi personal dengan menggunakan avatar dapat berupa orang, robot, superhero, karakter kartun atau binatang. Avatar dalam *game* *ber-gerne Real Time Strategy* (RTS) direpresentasikan dalam bentuk wajah dari karakter yang digunakan. Bentuk karakter wajah tersebut sangat erat kaitannya dengan animasi wajah karena memperkuat keberadaan karakter [1].

Teknik tradisional pembentukan animasi ekspresi model wajah tergantung pada kemampuan seniman untuk membuat gerakan kunci dan menggabungkannya menjadi serangkaian gerakan ekspresi

*) Penulis Korespondensi: didanendya@ti.ukdw.ac.id

wajah [2]. Video game dengan aturan yang interaktif membutuhkan adanya animasi wajah sebagai media komunikasi atau interaksi dengan area permainannya [3]. Keterbatasan sumber daya seringkali membuat hal ini ditiadakan. Akan tetapi dengan munculnya sistem permainan yang diselingi film animasi yang berupa *cut scene*, animasi ekspresi wajah menjadi hal yang mutlak untuk memberikan aspek hiburan bagi pemain [4].

Game dengan aturan permainan yang interaktif membutuhkan adanya animasi wajah dalam melakukan komunikasi atau interaksi dengan area permainannya. Karena sumber daya yang terbatas, animasi wajah dalam game sering ditiadakan. Namun akhir-akhir ini dengan munculnya sistem permainan game yang diselingi film animasi didalamnya menuntut keberadaan animasi ekspresi wajah yang mutlak ada untuk memberikan aspek hiburan dan cerita bagi si pemain [1].

Ekspresi wajah memiliki peran penting dalam model komunikasi nonverbal [5]. Untuk menghasilkan model ekspresi yang natural pada avatar, digunakan teknik transfer animasi dari animasi lain atau dengan menggunakan *data motion capture* wajah [6]. *Data motion capture* yang digunakan berasal dari wajah manusia yang kemudian dipindai melalui *facial motion capture* berdasarkan titik fitur wajah [7]. Titik fitur wajah yang digunakan mengacu pada *Facial Action Coding System* (FACS) [8] [9].

Facial motion capture akan menyimpan posisi dan orientasi dari satu obyek dan kemudian merekam informasi yang digunakan dalam koordinat di dunia maya [10]. Problematika yang muncul dalam menggunakan *data motion capture* ada pada pemetaan ulang titik fitur pada bentuk karakter yang berbeda secara morfologis dan skala penerapannya. [11].

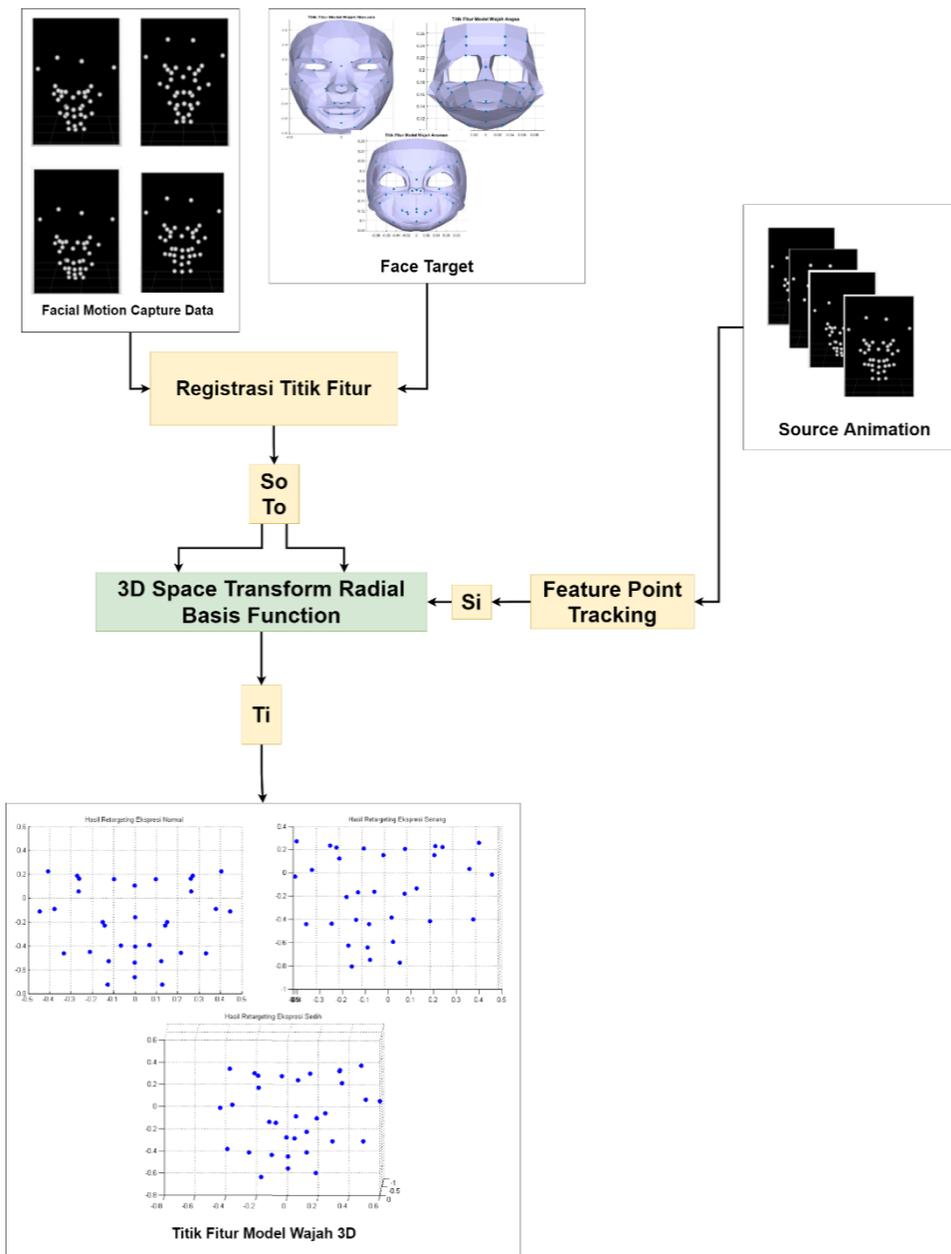
Teknik pembentukan animasi wajah yang dianggap efektif dari kecepatan produksi adalah teknik penggunaan ulang animasi wajah (*retargetting*). Cara ini mengusung penggunaan data *facial motion capture* yang kemudian di transformasikan melalui transformasi ruang berbasis *Radial Basis Function*. Karakter virtual 3 dimensi yang dihasilkan mampu melakukan visualisasi ekspresi wajah yang sesuai dengan ekspresi wajah manusia dengan memiliki nilai rata-rata simpangan baku 0.0034 [1].

Teknik transformasi ruang Radial Basis Function (RBF) digunakan untuk mengatasi perbedaan morfologi pada wajah manusia yang menjadi sumber acuan ekspresi dengan wajah model 3D yang menjadi target animasi. RBF digunakan dalam menentukan posisi titik fitur pada wajah model 3D berdasarkan posisi titik marker pada citra 2D wajah manusia. [11].

Penelitian ini berfokus pada transformasi ruang 3D untuk penggunaan ulang animasi ekspresi wajah dari data motion capture kedalam model wajah 3D. Data motion capture dan model wajah 3D melakukan registrasi titik fitur sebagai model transfer animasinya. Pada penelitian ini menggunakan 3(tiga) buah model wajah, yaitu model wajah 3D manusia, model wajah 3D angsa dan model wajah 3D anoman. Ketiga model wajah ini digunakan untuk menguji bentuk morfologis yang berbeda dari masing-masing model wajah.

Metode Penelitian

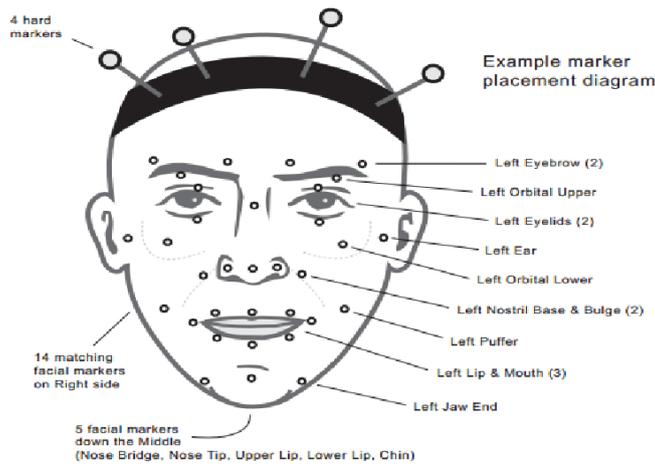
Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat secara lengkap pada Gambar 1. Langkah penelitian dimulai dari model akuisisi data, kemudian dilanjutkan pengembangan model wajah target. Langkah berikutnya adalah registrasi titik fitur yang kemudian dilanjutkan dengan transformasi ruang 3D berbasis radial basis function untuk menghasilkan titik fitur model wajah avatar 3D yang telah memiliki pergerakan animasi ekspresi wajah.



Gambar 1. Metode Penelitian Transforamsi Ruang 3D Pada Animasi Ekspresi Wajah Avatar berbasis Radial Basis Function

Model Akuisisi Data

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini adalah pengumpulan data gerak wajah. Model akuisisi data yang digunakan berbasis *motion capture* menggunakan *OptiTrack Motion Capture System* dengan 6 buah kamera Flex 3 (0.3 MP, 100 FPS). Akuisisi data berbasis penanda (marker) dengan penempatan penanda pada actor mengacu pada pendekatan *Facial Action Coding System (FACS)*.



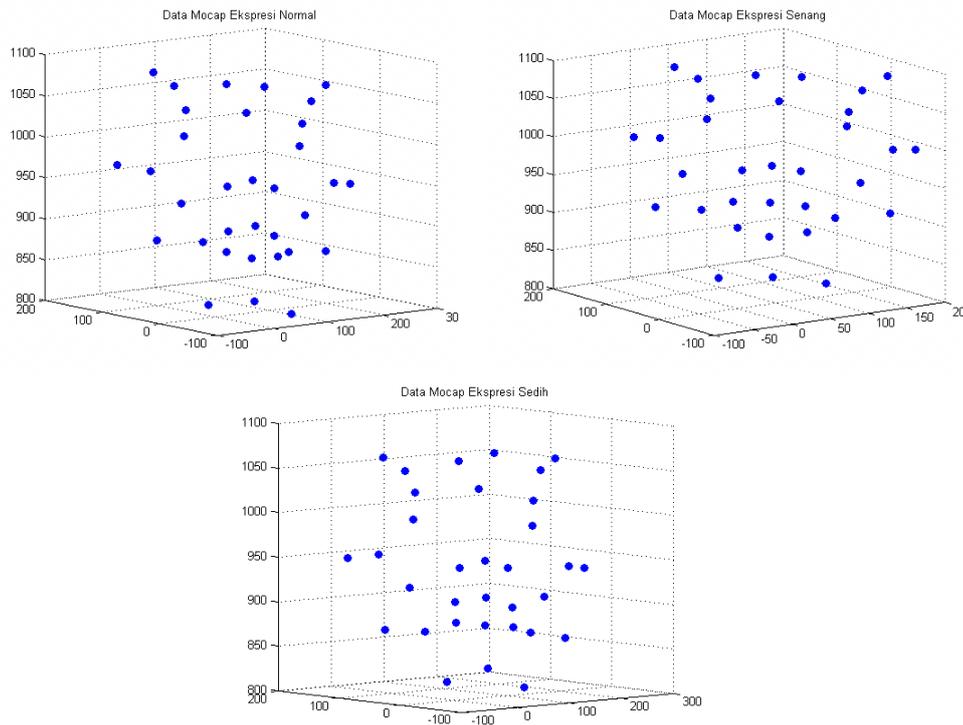
Gambar 2. Acuan Penempatan Titik Fitur Pada Wajah Pada Optitrack[12]

Gambar 2 merupakan acuan penempatan titik fitur pada wajah digunakan sebagai acuan untuk menempatkan penanda ada aktor. Model penempatan penanda ini membantu dalam proses perekam data untuk mendapatkan ekspresi wajah yang akan digunakan dalam proses selanjutnya. Proses berikutnya merupakan proses perekaman ekspresi wajah pada aktor. Aktor akan mempergarakan 6 ekspresi dasar yaitu marah, kaget, jijik, takut, senang dan sedih [13] . Proses perekaman ekspresi dasar manusia pada aktor di gambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Perekaman Ekspresi Wajah Pada Aktor

Hasil yang didapat dari proses perekaman ekspresi wajah pada actor berupa data *facial motion capture* . Secara umum, data *facial motion capture* terdiri dari bidang koordinat x, y, dan z. Beberapa Data *facial motion capture* yang dihasilkan dari proses perekaman ekspresi wajah pada aktor disajikan dalam bentuk koordinat sesuai dengan Gambar 4.

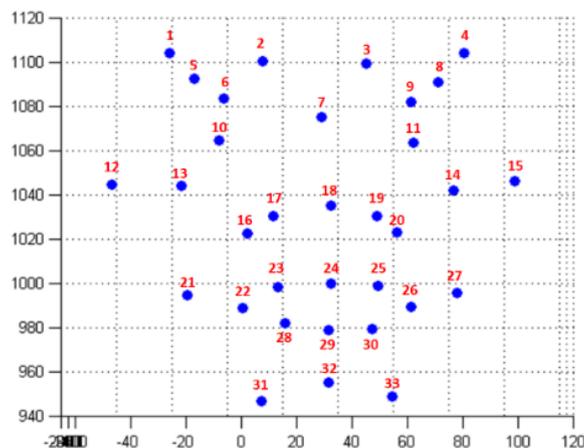


Gambar 4. Data Facial Motion Capture Hasil Perekaman Ekspresi Wajah pada Aktor dalam Sistem Koordinat

Data facial motion capture ini kemudian akan digunakan dalam proses transformasi ruang radial basis function untuk dapat digunakan data geraknya pada berbagai model wajah karakter.

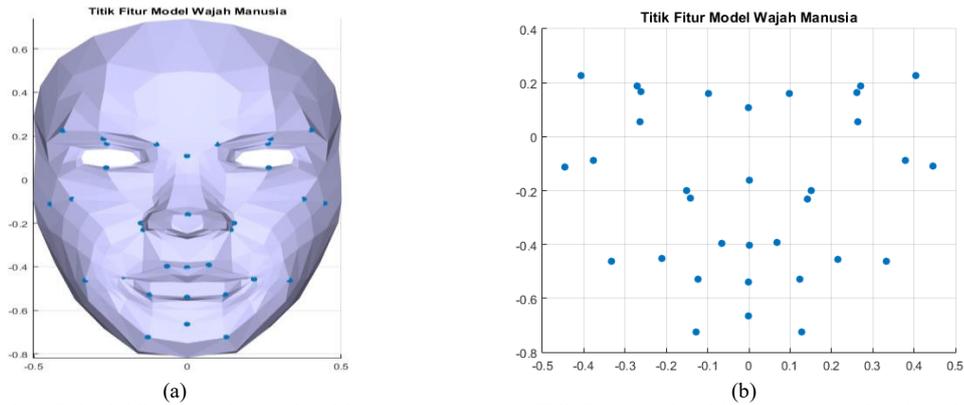
Facial Rigging

Facial rigging merupakan proses pembuatan kendali wajah untuk melakukan pembentukan animasi yang dilakukan oleh animator. Pada penelitian ini proses facial rigging dilakukan pada tiap model dari karakter wajah yang digunakan. Proses pembentukan facial rigging berupa pemberian titik fitur pada topeng wajah yang mengacu pada pendekatan FACS yang digunakan dalam optitrack motion capture system [14] seperti pada gambar 2. Untuk mempermudah dalam proses penggunaan ulang animasi pada model wajah serta memberikan analisa terhadap perpindahan titik fitur yang ada, lokasi titik fitur wajah diberi nomor secara manual. Pemberian nomor tersebut juga bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan pengaksesan data koordinat sehingga ketika proses perindahan titik fitur tidak terlihat secara visual masih dapat dilakukan pengamatan terhadap perubahan data yang terjadi.

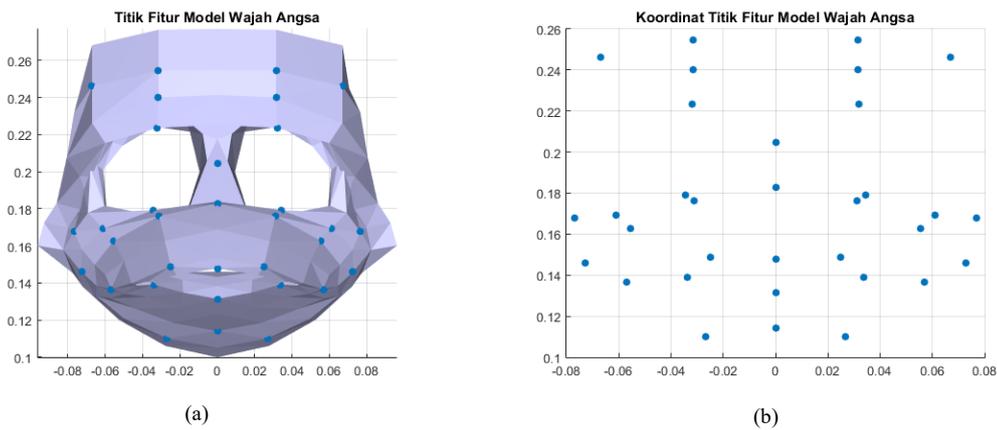


Gambar 5. Pemberian nomor pada titik fitur wajah

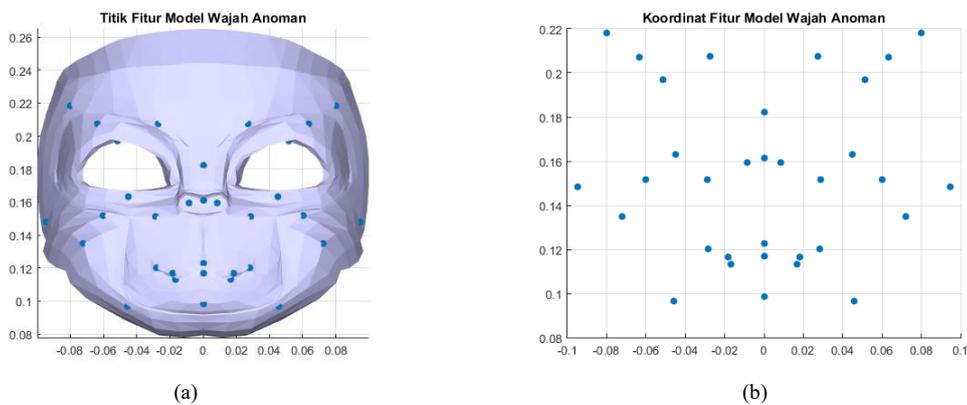
Proses *facial rigging* ini dilakukan secara manual pada tiap model avatar. Hasilnya dari proses *facial rigging* ini berupa data koordinat titik fitur topeng wajah dari model avatar yang digunakan. Koordinat titik fitur topeng wajah tersebut akan digunakan sebagai centroid proses retargeting. Data *facial motion capture* ini kemudian akan digunakan dalam proses transformasi ruang *radial basis function* untuk dapat digunakan data geraknya pada berbagai model wajah avatar. Penelitian ini menggunakan 3 model wajah avatar, yaitu manusia, angsa dan anoman.



Gambar 6. (a) Lokasi titik fitur pada model wajah avatar manusia. (b) Titik fitur model wajah avatar manusia dalam sistem koordinat



Gambar 7. (a) Lokasi titik fitur pada model wajah avatar angsa. (b) Titik fitur model wajah avatar angsa dalam sistem koordinat



Gambar 8. (a) Lokasi titik fitur pada model avatar karakter anoman. (b) Titik fitur model wajah avatar anoman dalam sistem koordinat

Hasil yang didapatkan dalam proses registrasi pada model wajah avatar berupa data koordinat titik fitur model avatar karakter pada gambar 6,7 dan *.

Radial Basis Function

Radial Basis Functions (RBF) sering dipakai pada aplikasi grafika komputer dalam proses perkiraan dan interpolasi permukaan. Pada penelitian ini, RBF digunakan sebagai transformasi ruang. Untuk melakukan hal ini, didefinisikan terlebih dahulu dua buah ruang dengan dua buah himpunan titik fitur. Misalkan saja S_0 sebagai himpunan titik fitur sumber, T_0 sebagai himpunan titik fitur target, dan N adalah ukuran himpunan. Setiap titik pengendali $\vec{t}_t \in T_0$ memiliki hubungan dengan $t_i \in T_0$. Setelah dilakukan pelatihan dengan dua buah himpunan titik fitur tersebut, RBF dapat melakukan transformasi posisi dari ruang sumber ke ruang target dengan perumusan RBF:

$$F(\vec{S}_j) = \sum_{i=1}^N \vec{W}_i \cdot h(\|\vec{S}_j - \vec{S}_t\|)$$

Dengan

$$h(\|\vec{S}_j - \vec{S}_t\|) = \sqrt{(\|\vec{S}_j - \vec{S}_t\|)^2 + sc_j^2} \quad (\text{fungsi muti-kuadrik})$$

$$sc_j = \min_{j \neq 1} \|\vec{S}_j - \vec{S}_t\|$$

Pelatihan jaringan terdiri atas proses penyelesaian 3 sistem linier dari persamaan N (pada kasus 3 dimensional) seperti:

$$\vec{t}_j = F(\vec{S}_j)$$

Misalkan H adalah sebuah matrik seperti $H_{ij} = h(\|\vec{S}_j - \vec{S}_t\|)$ dan $T_x = (t_1^x t_2^x \dots t_N^x)^t$ dimana t_j^x adalah koordinat x dari \vec{t}_j . Maka dengan menggunakan Persamaan (3.1) dan (3.2), sistem dapat didefinisikan sebagai:

$$T_x = H \cdot W_x$$

dengan bobot $W_x = (w_1^x w_2^x \dots w_N^x)^t$. Sehingga untuk menyelesaikan system dihitunglah nilai $W_x = H^{-1} T_x$. Sekali jaringan RBF dilatih untuk setiap sumbu, posisi di ruang target \vec{t} untuk setiap titik \vec{s} dari ruang sumber didapatkan dengan menerapkan transformasi $F(\vec{s})$.

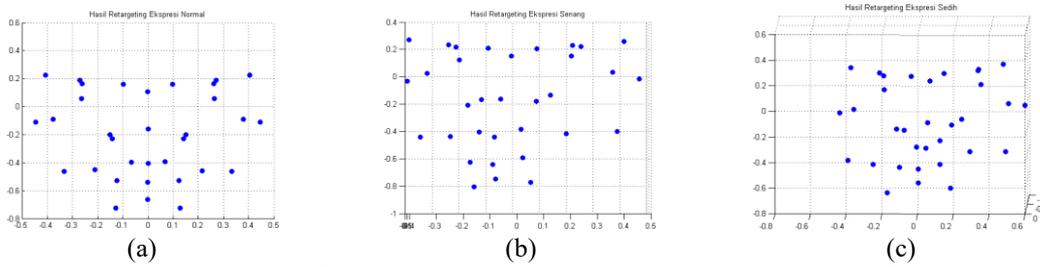
Hasil dan Pembahasan

Inisialiasasi

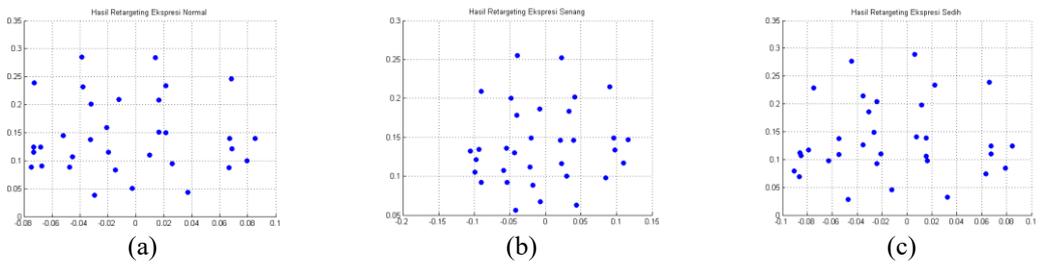
Transformasi ruang menggunakan *radial basis function* digunakan sebagai cara untuk melakukan transformasi ruang ekspresi wajah antara data *facial motion capture* dan target model wajah. Bentuk morfologis wajah manusia secara umum sangat bervariasi dan memiliki perbedaan dengan bentuk morfologis karakter 3D seperti karakter kartun, monster ataupun binatang. Hal ini mengakibatkan pergerakan dari titik fitur yang menggunakan wajah manusia sebagai sumber data animasi tidak dapat langsung dipergunakan. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan data animasi tersebut seperti skala dan orientasi.

Transformasi ruang berbasis *Radial Basis Function* (RBF) memberikan solusi untuk mengatasi hal tersebut. Titik fitur dari wajah sumber didefinisikan sebagai ruang sumber dan titik fitur dari model wajah target didefinisikan sebagai ruang target. Ada 2 tahapan dalam *radial basis function*, tahap pertama yaitu tahap inisialiasasi dan tahap kedua yaitu tahap *testing* yang digunakan sebagai tahapan untuk menentukan (prediksi) posisi penanda pada *frame* berikutnya dalam model wajah 3D. Sebagai tahapan awal ditentukan terlebih dahulu dua ruang perpindahan dengan dua set data titik fitur. Titik S_0 didefinisikan sebagai titik fitur data *facial motion capture*, T_0 didefinisikan sebagai titik fitur target wajah dan N sebagai banyaknya jumlah dari data yang dipakai. Pada penelitian ini menggunakan 33 titik fitur wajah sehingga nilai $N = 33$.

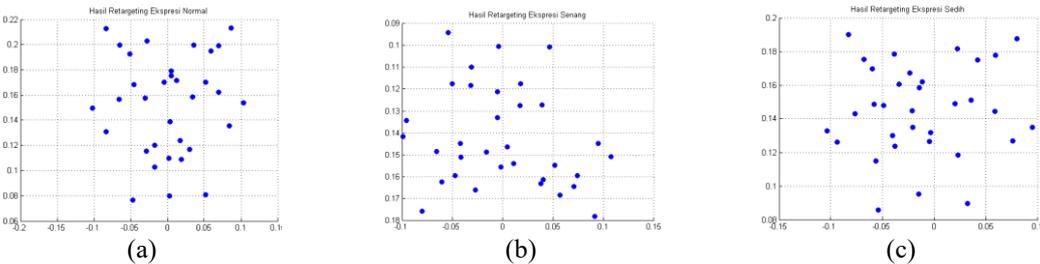
Hasil dari proses transformasi ruang RBF berupa koordinat baru pada titik fitur model wajah. Koordinat titik fitur baru pada model wajah jika digerakkan sesuai dengan pergerakan *frame* pada data *facial motion capture* akan melakukan pergerakan yang sama. Gambar berikut ini menampilkan beberapa sampel hasil perpindahan transformasi ruang RBF pada model wajah avatar manusia, angsa dan anoman dalam sistem koordinat.



Gambar 9. Hasil Transformasi Ruang Pada Model Wajah Avatar Manusia (a) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Normal, (b) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Senang Dan (c) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Sedih



Gambar 10. Hasil Transformasi Ruang Pada Model Wajah Avatar Angsa (a) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Normal, (b) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Senang Dan (c) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Sedih

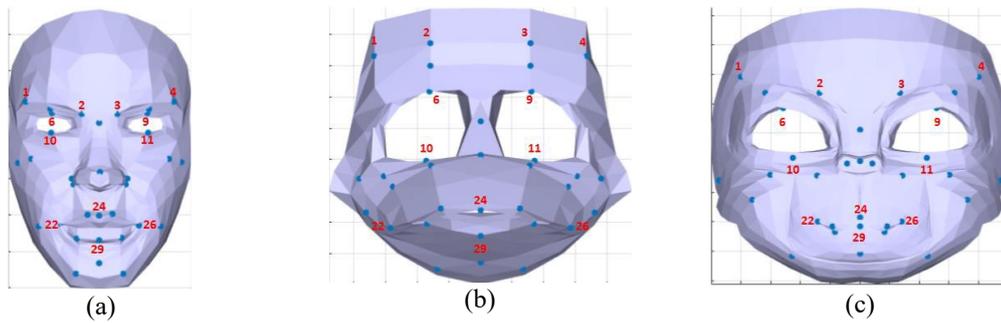


Gambar 11. Hasil Transformasi Ruang Pada Model Wajah Avatar Anoman (a) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Normal, (b) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Senang Dan (c) Hasil Transformasi Ruang Ekspresi Sedih

Gambar 9 merupakan hasil transformasi ruang pada model wajah avatar manusia. Gambar (a) menunjukkan hasil transformasi ruang ekspresi normal, (b) menunjukkan ekspresi senang dan (c) menunjukkan ekspresi sedih. Hasil transformasi ruang RBF ini di registrasikan korepondensi satu-satu antara titik fitur pada model wajah dengan data *motion capture*. Hasil yang serupa juga ditunjukkan pada model wajah avatar lainnya seperti model wajah avatar angsa pada gambar 10 dan model wajah avatar anoman seperti pada gambar 11. Tiap model ekspresi diwakilkan ekspresi normal, senang dan sedih. Dari Gambar 9, 10 dan 11 pada ekspresi normal hampir menunjukkan grafik yang sama, sedangkan untuk ekspresi senang dan sedih ada beberapa perbedaan dengan ekspresi normalnya.

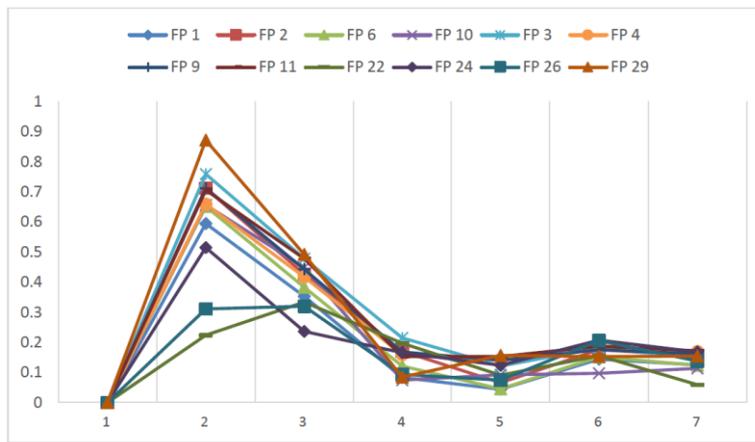
Testing

Tahapan testing transformasi ruang RBF pada model wajah 3D dilakukan dengan melakukan pemilihan terhadap titik fitur dari data *facial motion capture* yang mewakili area gerak wajah dalam pembentukan ekspresi wajah. Titik fitur 1,2,6 dan 10 dipilih sebagai titik fitur yang mewakili area mata kanan. Titik fitur 3,4,9 dan 11 dipilih sebagai titik fitur yang mewakili area mata kiri dan titik fitur 22, 24, 26 dan 29 dipilih sebagai titik fitur yang mewakili area mulut. Secara lengkap, ilustrasi pemilihan titik fitur dapat dilihat pada gambar 12.

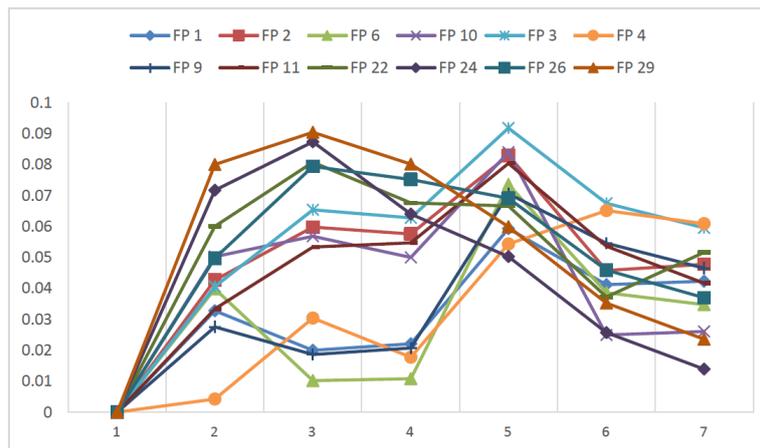


Gambar 12. Posisi Titik Fitur Yang Digunakan Sebagai Pembahasan Pada Model Wajah Avatar (a) Manusia (b) Angsa (c) Anoman.

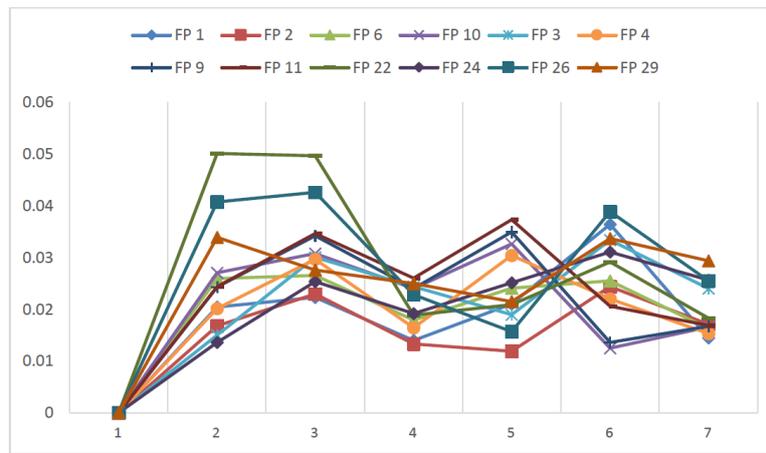
Pada pembahasan ini, digunakan data berupa 7 frame dari data *facial motion capture* dan data hasil dari proses transformasi ruang RBF. Data *facial motion capture* digunakan sebagai acuan untuk mengetahui terjadinya perpindahan titik fitur. Ketika titik fitur dari data *facial motion capture* berubah, maka semua titik fitur pada model wajah target bergerak sesuai dengan data sumbernya.



Gambar 13. Grafik Perpindahan Titik Fitur Nomor Pada Model Wajah Avatar Manusia



Gambar 14. Grafik Perpindahan Titik Fitur Nomor Pada Model Wajah Avatar Angsa



Gambar 15. Grafik Perpindahan Titik Fitur Nomor Pada Model Wajah Avatar Anoman.

Dari gambar 13, 14 dan 15 pada frame ke-0 dari masing-masing model wajah avatar terjadi perubahan titik fitur berniali 0 atau pepindahan titik fitur. hal ini dikarenakan frame 0 merupakan *frame* dimana pergerakan titik fitur dimulai. Pada frame selanjutnya (1 – 6) terjadi perpindahan frame yang menandakan adanya pergerakan titik fitur.

Sebagai sampel diambil titik fitur 1,2, 3,4, 6, 9, 10, 11, 22, 24,26 dan 29. Perpindahan titik fitur diambil dari frame 1 sampai 6. Perubahan titik fitur ini menandakan adanya perubahan animasi pembentukan ekspresi wajah pada masing-masing model wajah avatar.

Dari grafik diketahui bahwa terjadi perpindahan titik fitur wajah pada model wajah avatar manusia, angsa dan anoman. Proses perpindahan titik fitur wajah terjadi secara linier dan bergantung pada banyaknya mesh wajah serta bagaimana bentuk morfologis dari model yang digunakan. Bentuk morfologis manusia atau yang mirip dengan manusia digambarkan dengan grafik yang hampir sama, sedangkan untuk model wajah yang memiliki morfologis berbeda seperti angsa dengan bibirnya yang lebar, memiliki grafik perpindahan yang berbeda.

Tingkat kesesuaian hasil proses transformasi ruang RBF pada model wajah 3D dihitung dengan menggunakan pendekatan standar deviasi atau simpangan baku antara data *facial motion capture* dengan data hasil proses transformasi RBF. Hasil rata-rata perhitungan standar deviasi untuk semua titik fitur pembentuk animasi wajah pada model wajah 3D dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Simpangan Baku Hasil Proses Transformasi RBF pada Model Wajah 3D

Titik Fitur	Simpangan Baku Model Wajah 3D		
	Manusia	Angsa	Anoman
1	0.1945	0.0177	0.0102
2	0.2274	0.0233	0.0075
3	0.2397	0.0265	0.0102
4	0.2027	0.0251	0.0095
6	0.2118	0.0231	0.0088
9	0.2218	0.0224	0.0113
10	0.2251	0.0251	0.0107
11	0.2235	0.0228	0.0115
22	0.1038	0.0247	0.0167
24	0.1457	0.0299	0.0096
26	0.1122	0.0255	0.0144
29	0.2848	0.0314	0.0108
Rerata simpangan baku	0.0510	0.0034	0.0024

Hasil transformasi ruang pada model wajah 3D memiliki rerata simpangan baku 0,0510 pada model wajah karakter manusia, 0,0034 rerata simpangan baku pada model wajah karakter angsa dan 0,0024 rerata simpangan baku pada model wajah karakter anoman.

Kesimpulan

Transformasi ruang 3D untuk membentuk animasi pada titik fitur model wajah avatar dengan metode radial basis function dan menggunakan data *facial motion capture* telah berhasil dilakukan. Penelitian ini menggunakan 3 buah sampel model wajah avatar 3D, yaitu model wajah avatar manusia, model wajah avatar angsa dan model wajah avatar anoman. Hasil transformasi ruang 3D pada model wajah avatar manusia memiliki rerata simpangan baku 0,0510. Hasil transformasi ruang 3D pada model wajah avatar angsa memiliki rerata simpangan baku 0,0034. Dan hasil transformasi ruang 3D pada model wajah avatar anoman memiliki simpangan 0,0024. Dengan teknik ini diharapkan pembentukan animasi ekspresi wajah pada avata dapat dilakukan dengan lebih cepat karena adanya penggunaan kembali (*reuse*) dari data *facial motion capture*.

Tahapan selanjutnya perlu dilakukan skinning agar data motion data pada model wajah avatar dapat membentuk animasi dengan sempurna. Tahapan lain dari penelitian untuk meningkatkan uji kehandalan dari transformasi ruang 3D perlu dilakukan penambahan model wajah avatar terutama yang memiliki perbedaan morfologis yang berbeberda supaya hasil transformasi ruang 3D mendapatkan hasil yang maksimal dari berbagai macam model wajah avatar. Model fungsi RBF yang lain seperti gaussian, invers kuadrik dan invers multi-kuradrik perlu diterapkan juga untuk mendapatkan uji model dari fungsi RBF yang terbaik.

Daftar Pustaka

- [1] M. B. Nendya, "Animasi Ekspresi Wajah Pada Karakter Virtual 3 Dimensi Berbasis Radial Basis Function," *J. Animat. Games Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 67–84, 2015, doi: 10.24821/jags.v1i1.899.
- [2] S. G. Gunanto, "Evaluasi Sintesis Ekspresi Wajah Realistik pada Sistem Animasi Wajah 3D dengan Teknologi Motion Capture," *REKAM J. Fotogr. Telev. dan Animasi*, vol. 14, no. 2, pp. 87–96, 2018, doi: 10.24821/rekam.v14i2.1747.
- [3] A. Fudholi, "Animasi Interaktif Pembelajaran Pengenalan dan Perancangan Jaringan Komputer," *Penelit. Ilmu Komput. Sist. Embed. dan Log.*, vol. 3, no. 1, pp. 28–40, 2015.
- [4] I. A. Zulkarnain, "Optimalisasi Face Rigging Pada Pembuatan Karakter Animasi 3D," *J. SITECH Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 185–192, 2019, doi: 10.24176/sitech.v2i2.3920.
- [5] S. Chin, C. Y. Lee, and J. Lee, "An automatic method for motion capture-based exaggeration of facial expressions with personality types," *Virtual Real.*, vol. 17, no. 3, pp. 219–237, 2013, doi: 10.1007/s10055-013-0227-8.
- [6] M. B. Nendya and S. G. Gunanto, "ANIMASI EKSPRESI WAJAH PADA AVATAR BERBASIS FEATURE- POINT CLUSTER B-86 B-87," *Pros. SENTIA 2014-Politeknik Negeri Malang*, vol. 6, pp. 86–90, 2014.
- [7] A. J. Sijabat, "Motion Capture Dalam Penciptaan Gerak Natural Karakter Alita Dalam Film 'Alita: Battle Angel,'" *Pros. Semin. Nas. Cendekiawan*, p. 2, 2019, doi: 10.25105/semnas.v0i0.5816.
- [8] L. Husniah, H. Wibowo, and M. Yuniarno, "Facial Rigging untuk Karakter 3D Berbasis Facial Action Coding System (FACS)," *J. Animat. Games Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–30, 2015, doi: 10.24821/jags.v1i1.896.
- [9] F. I. Parke, "Computer generated animation of face," *Proc. ACM Annu. Conf.*, vol. 1, pp. 451–457, 1972.
- [10] J. Bennett and C. Carter, "Adopting Virtual Production For Animated Filmmaking," pp. 81–86, 2014, doi: 10.5176/2251-1679_cgat14.21.
- [11] T. Troy and P. Pranowo, "Transformasi Ruang 2D Ke 3D Pada Animasi Wajah Berbasis Data Marker Menggunakan Radial Basis Function," *J. Animat. Games Stud.*, vol. 2, no. 2, p. 229, 2016, doi: 10.24821/jags.v2i2.1422.
- [12] K. El-Haddad, H. Çakmak, E. Gilmartin, S. Dupont, and T. Dutoit, "Towards a listening agent: A system generating audiovisual laughs and smiles to show interest," *ICMI 2016 - Proc. 18th ACM Int. Conf. Multimodal Interact.*, pp. 248–255, 2016, doi: 10.1145/2993148.2993182.
- [13] S. Sumpeno, M. Hariadi, and M. H. Purnomo, "Facial emotional expressions of life-like character based on text classifier and fuzzy logic," *IAENG Int. J. Comput. Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 122–133, 2011.

-
- [14] M. B. Nendya, E. M. Yuniarno, and S. Sumpeno, "Clustering Titik Fitur Model Wajah 3D Menggunakan K-Nearest Neighbour," *J. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 07, no. 01, pp. 19–24, 2021, [Online]. Available: <https://journal.uc.ac.id/index.php/JUISI/article/view/1739>.