

Animasi Ekspresi Wajah Pada Karakter Virtual 3 Dimensi Berbasis *Radial Basis Function*

Matahari Bhakti Nendya

Game Technology, Jaringan Cerdas Multimedia, Jurusan Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
email: dida.nendya@gmail.com

Abstrak

Animasi wajah memegang peranan penting dalam menghadirkan keberadaan karakter virtual 3 dimensi. Proses pembentukan animasi ekspresi wajah memerlukan waktu yang lama bahkan bagi animator yang handal dikarenakan kompleksitas dari wajah manusia itu sendiri. Salah satu teknik pembentukan animasi wajah yang dianggap efektif dari sisi kecepatan produksi adalah teknik penggunaan ulang animasi wajah (*retargetting*). Teknik 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 0.0034.

Kata kunci: animasi, animasi ekspresi wajah, karakter virtual 3 dimensi, *facial motion capture*, *retargeting*, *radial basis function*, *game*.

Abstract

Facial animation is an important role in bringing the existence of the 3D virtual character. Process of making facial animation take a long time even for professional animator due the complexity of the human face itself. One of the techniques to make facial animation considered effective in terms of speed of production is the using repeatedly facial animation (retargetting). This technique carries the facial motion capture data usage which is then transformed through the transformation of the space-based radial basis function. Generated 3D virtual character can visualizing facial expression corresponding to the expression of a human face by having an average deviation value of 0.0034.

Keywords: animation, facial animation, 3D virtual character, facial motion capture, retargeting, radial basis function, game.

Pendahuluan

Animasi wajah merupakan aspek penting di lingkungan virtual 3D yang menghadirkan keberadaan karakter, baik manusia maupun yang menyerupainya. Pemanfaatannya meliputi industri game 3D, perangkat lunak interaktif, dan film animasi 3D. Bagaimanapun juga untuk menghasilkan animasi wajah yang baik diperlukan waktu yang lama bagi seorang animator ahli dikarenakan kompleksitas ekspresi wajah manusia yang merupakan bagian penting dalam pergerakan secara alamiah (Parke F. , 1972). Bahkan sampai saat ini perkembangan penelitian animasi wajah masih banyak dihasilkan, terutama untuk dua aspek penting: proses *rigging* wajah dan pemindahan ekspresi antar dua buah karakter virtual 3D atau antar manusia ke karakter 3D.

Pendekatan tradisional untuk menganimasikan ekspresi model wajah bergantung pada seorang seniman untuk menciptakan gerakan kunci dan kemudian menggabungkannya menjadi serangkaian gerakan ekspresi wajah. 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. Problematika yang dijumpai bagi produsen adalah penggunaan kerangka dan gerakan wajah yang sama dalam model yang berbeda adalah tugas yang sangat menghabiskan waktu bagi para animator (Orvalho, Zacur, & Susin, 2006). Problematika ini juga terjadi pada pembuatan gerakan animasi wajah dikarenakan penyesuaian gerakan yang alami dan detail diperlukan untuk membuat ekspresi wajah menjadi menarik dan membuat karakter menjadi lebih hidup. Oleh karena itu pencarian sebuah solusi yang mampu menangani permasalahan itu menjadi prioritas utama untuk dikerjakan, terlebih yang mampu memunculkan sebuah desain teknologi tepat guna di sektor industri animasi.

Penelitian ini mengusulkan adanya metode pembentukan animasi ekspresi wajah pada karakter virtual 3D dengan melakukan teknik penggunaan ulang animasi (*retargetting*) berbasis *radial basis function* dan diharapkan dapat menghasilkan

karakter virtual 3D yang dapat melakukan visualisasi ekspresi tanpa perlu adanya percakapan atau dialog.

Animasi Ekspresi Wajah Berbasis Komputer

Bahasa Mimik seperti yang dikembangkan oleh Hjortsjo pada tahun 1970 merupakan salah satu usaha awal untuk pemetaan ekspresi wajah menurut sistematisasi aktivitas otot wajah yang diamati dari ragam perbedaan ekspresi wajah sang aktor (Hjortsjo, 1970). *Facial Action Coding System* atau sering dikenal sebagai FACS dikembangkan oleh Paul Ekman dan Wallace Friesen sebagai pengembangan dari metode bahasa mimik pada tahun 1978. FACS membagi area wajah menjadi 66 *Action Unit* (AU) yang mampu merekonstruksi wajah dengan beraneka ragam ekspresi secara alamiah (Ekman & Friesen, 1978). Sistem FACS saat ini masih sering digunakan oleh para animator untuk merekonstruksi ekspresi wajah dengan memanfaatkan pengendali ekspresi di sistem animasi wajah secara deskriptif.

Pengembangan sistem animasi wajah dapat dipandang dalam dua buah aktivitas yang saling bebas, yaitu proses pengembangan parameterisasi kendali serta tampilan antarmuka penggunaannya, dan pengembangan teknik implementasi animasi wajah berdasarkan parameterisasinya (Parke & Waters, 2008). Teknik yang sangat memegang peranan penting dalam proses animasi wajah adalah proses kontrol pengendali yang nantinya akan menjadi acuan proses pembangkitan animasi. Semakin baik proses pengontrolan kendali dari setiap parameter, maka semakin akurat proses pembangkitan animasi wajah yang natural.

Deformation Based Approach

Deformasi secara langsung didefinisikan pada permukaan *mesh* wajah yang sering menghasilkan animasi berkualitas. Hal ini mengabaikan anatomi wajah dan struktur otot yang ada. Sehingga fokusnya hanyalah pada pembuatan variasi ekspresi wajah dengan memanipulasi *thin-shell mesh*. Kategori ini meliputi *morphing* antara model berbeda dan otot semu tersimulasi pada bentuk *splines*

(Viad & Yahia, 1992), kawat (Singh & Fiume, 1998), atau *free form deformations* (Kalra, Mangili, Thalmann, & Thalmann, 1992).

Morphing 2D dan 3D

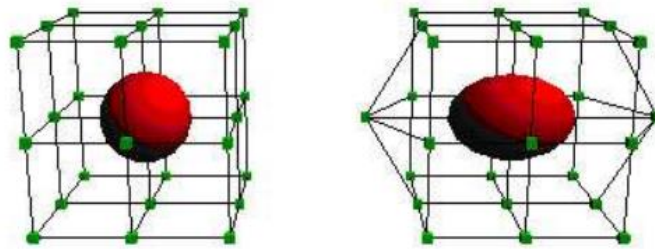
Morphing memberikan efek sebuah perubahan antara 2 target citra atau model. Sebuah citra 2D berubah meliputi perubahan antara titik-titik yang berhubungan dengan citra tujuan dan secara simultan berubah selayaknya *cross dissolve*. Secara tipikal, titik-titik yang berhubungan tersebut dipilih secara manual supaya sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Beier dan Neely (Beier & Neely, 1992) menunjukkan *morphing* 2D antara dua citra yang secara manual dipilih fitur yang berhubungan berupa garis. Fungsi *warp* berdasarkan tempat yang terpengaruh dan sekitarnya. Pendekatan realistik dari cara ini membutuhkan interaksi manual yang berupa pewarnaan, pemilihan fitur koresponden, pengaturan parameter *warp* dan *dissolve*. Variasi di sudut pandang citra tujuan atau fitur untuk melengkapi pemilihan korespondensi fitur. Gerakan kepala sangat sulit di sintesis jika fitur tujuan tertutup. Untuk mengatasi hal ini, Pighin et al. (Pighin, Auslander, Lischinski, Salesin, & Szeliski, 1997) mengkombinasikan 2D *morphing* dengan transformasi 3D model geometri. Mereka menganimasikan kunci animasi ekspresi wajah dengan interpolasi geometri 3D ketika citra mulai *morphing* sesuai teksturnya. Pendekatan ini mendokumentasikan realisme *viewpoint* yang bebas, walaupun animasi masih terbatas untuk interpolasi antara kunci ekspresi wajah telah ditentukan di awal.

Metode *morphing* 2D dan 3D dapat menghasilkan ekspresi wajah yang baik dan berkualitas, namun mempunyai keterbatasan yang serupa dengan pendekatan interpolasi. Pemilihan titik yang berhubungan di citra tujuan masih dikerjakan secara manual dan tergantung pada sudut pandang serta tidak mempunyai bentuk umum untuk wajah yang berbeda. Selain itu sudut pandang animasi juga menjadi terikat ke citra tujuan yang spesifik saja.

Free Form Deformation

Free Form Deformation (FFD) mengubah obyek volumetrik dengan mengubah titik kendali di dimensional kisi kubik 3 dimensi (Sederberg & Parry,

1996). Secara konsep, obyek fleksibel ditanamkan pada sebuah kisi kubik kendali 3D yang berbentuk grid dan tersusun atas titik-titik kendali. Kotak kisi kubik kendali mampu menyesuaikan perubahan yang dikerjakan pada obyek didalamnya sehingga obyek yang diubah tetap berada di dalam kisi kotak tersebut.



Gambar 1 Cara kerja *Free Form Deformation* (FFD)
((Sederberg & Parry, 1996))

Extended Free Form Deformation (EFFD) (Coquillart, 1990) mengizinkan perluasan titik kisi kendali kotak menjadi bentuk struktur kisi silinder. Bentuk kisi silinder dipandang mempunyai fleksibilitas tinggi untuk perubahan bentuk dibandingkan bentuk kisi kotak. *Rational Free Form Deformation* (RFFD) menggunakan faktor bobot untuk setiap titik kendali dan menambahkan tingkat derajat kebebasan pada perubahan deformasi. Oleh karena itu, deformasi dimungkinkan dengan pengubahan faktor bobot dibandingkan mengubah posisi titik kendali. Ketika semua bobot bernilai satu, maka RFFD berubah menjadi FFD. Keuntungan menggunakan FFD (EFFD, RFFD) dibandingkan kendali *Abstract Deformation* permukaan adalah transisi bentuk tidak tergantung secara spesifik pada permukaannya (Thalmann & Thalmann, 1996).

Pemindahan titik kontrol berasosiasi ke perlakuan model fisik otot. Jika dibandingkan dengan teori Waters tentang *physically based model* (Waters, 1987), pengubahan posisi atau bobot titik kendali sangat intuitif dan mudah dibandingkan mengubah vektor otot yang digambarkan dengan luasan area pengaruh. Namun FFD (EFFD, RFFD) tidak menyediakan simulasi yang tepat dari kondisi otot dan kulit yang sesungguhnya. Selanjutnya, sejak FFD (EFFD, RFFD) berbasis pada deformasi permukaan, perubahan volumetrik yang terjadi di otot tidak diperhitungkan.

Facial Motion Capture Data

Saat ini produksi animasi yang berkualitas banyak yang menggunakan data tangkap gerak atau *motion capture* 3D data. Data *motion capture* sangat sukses digunakan di beberapa film animasi. Atau kata lain, data motion capture didapat dan dibersihkan berdasarkan animasinya. Sebuah array dari data tangkapan kamera berkualitas baik digunakan untuk membangun lokasi penanda 3D di area wajah. Meskipun sistem optik ini sangat sulit untuk digunakan dan mahal, data yang direkonstruksikan memberikan ketepatan waktu dan informasi gerak. Sekali data siap, animasi wajah dapat dibuat dengan mengolah struktur (Choe, Lee, & Ko, 2001) otot atau *blendshapes* (Deng, Chiang, Fox, & Neumann, 2006).

Facial Animation Transferring

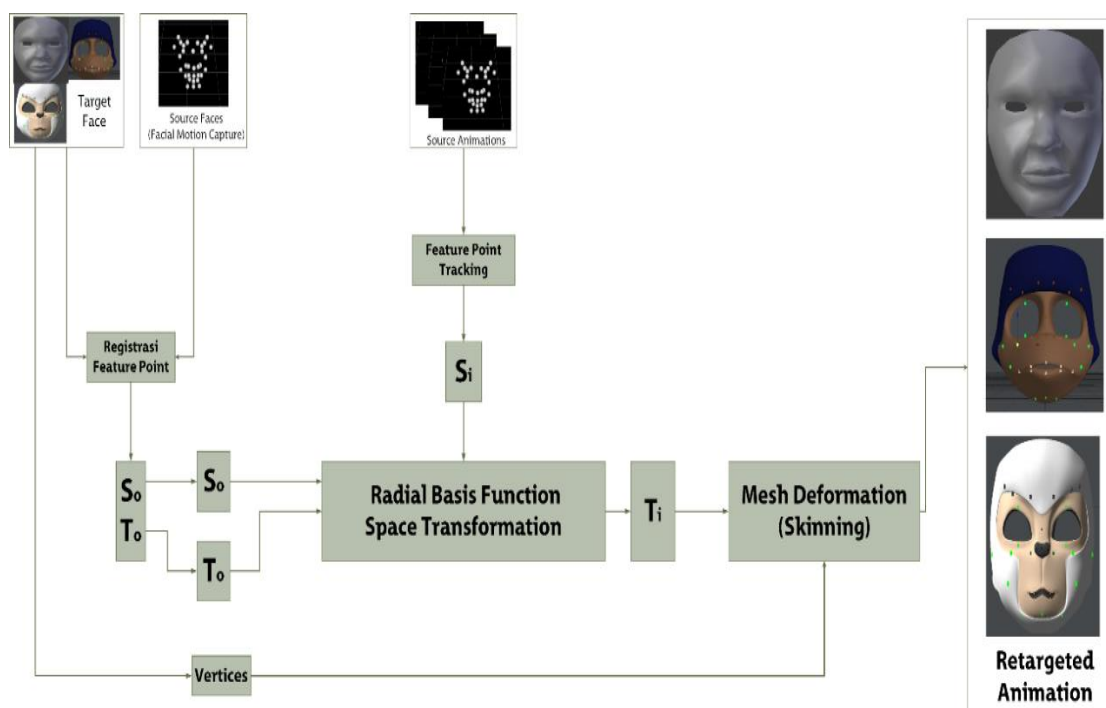
Transfer gerak wajah antara dua *meshes* wajah 3D dapat dilakukan melalui deformasi geometri. Noh dan Neumann (Noh & Neumann, 2001) mencoba teknik kloning ekspresi untuk proses transfer perubahan posisi vertek dari satu buah sumber model wajah 3D ke target model wajah 3D yang dimungkinkan mempunyai perbedaan proporsional geometri dan struktur *mesh*. Ide dasarnya adalah untuk membangun pemetaan gerak vertek antar model melalui perubahan *radial basis function* (RBF). Sumner dan Popovic (Sumner & Popovic, 2004) mencoba kerangka kerja umum yang secara otomatis memindahkan perubahan geometri antara dua *mesh* segitiga. Hal ini dapat secara langsung mengaplikasikan target ulang gerak wajah dari satu sumber *mesh* wajah ke *mesh* wajah target. Kedua pendekatan itu membutuhkan beberapa titik inialisasi wajah yang secara heuristik berhubungan (Noh & Neumann, 2001) atau dilakukan spesifikasi secara manual.

Beberapa pendekatan diusulkan untuk melakukan transfer gerak wajah sumber ke model wajah *blendshape* (Deng, Chiang, Fox, & Neumann, 2006). Choe dan Ko (Choe, Lee, & Ko, 2001) melakukan transfer gerak wajah yang dijejaki ke model wajah *blendshape* target dengan cara pengamatan perubahan otot dan analisis perubahan bobot melalui prosedur optimasi. Pekerjaan (Pyun, Kim, Chae, Kang, & Shin, 2003) memindahkan animasi wajah menggunakan pendekatan berbasis contoh. Pendekatan ini membutuhkan keterlibatan seorang animator untuk membentuk model wajah *blendshape* berdasarkan kunci pose wajah yang ada

secara hati-hati. Sehingga teknik ini sangat sulit dipakai jika hanya mempunyai model *blendshape* bentuk dasar dan tanpa melakukan pengolahan awal. Sifakis et al. (Sifakis, Neverov, & Fedkiw, 2005) pertama kali membuat model wajah yang akurat secara anatomi yang tersusun dari sistem otot wajah yang komplit, lapisan jaringan pasif, dan struktur tulang wajah. Kemudian digunakanlah metode *nonlinear finite element* untuk menggambarkan pergerakan otot yang akurat dari gerak penanda yang terdapat di wajah. Kekurangannya terletak pada keharusannya menggunakan model wajah 3D yang akurat secara anatomi. Deng et al (Deng, Chiang, Fox, & Neumann, 2006) mengusulkan teknik otomatis yang mampu secara langsung memetakan data motion capture wajah 3D ke model wajah *blendshape* yang sudah dibuat. Pendekatan tersebut *RBF network* dilatih untu memetakan data motion capture baru ke bobot *blendshape* yang bersesuaian, berdasarkan pelatihan pasangan data antara kerangka *motion capture* dan bobot *blendshape*.

Metodologi Penelitian

Secara umum penelitian ini dilakukan dengan metode eksplorasi eksperimentatif dengan tahapan seperti pada Gambar 2.

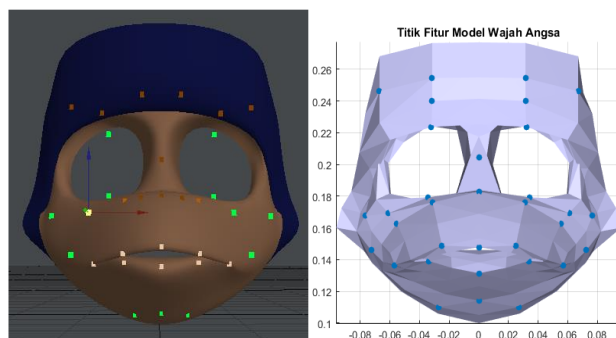


Gambar 2. Metodologi Penelitian Animasi Ekspresi Wajah Pada Karakter Virtual 3D Berbasis *Radial Basis Function*

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*.

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 topang wajah tersebut akan digunakan sebagai *centroid* dalam proses *clustering* dan digunakan dalam proses *retargeting*.



Gambar 2 *Facial Rigging* Pada Model Wajah Karakter Virtual 3D

Hasil yang didapatkan dalam proses registrasi pada model wajah karakter virtual 3D berupa data koordinat titik fitur model wajah karakter virtual 3D.

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 $\vec{s}_i \in S_0$ memiliki hubungan dengan $\vec{t}_i \in T_0$. Setelah dilakukan pelatihan dengan dua buah himpunan titik fitur

tersebut, RBF dapat melakukan transformasi posisi dari ruang sumber ke ruang target dengan perumusan RBF:

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

dengan $h(\|\vec{s}_j - \vec{s}_i\|) = \sqrt{(\|\vec{s}_j - \vec{s}_i\|)^2 + sc_j^2}$ (fungsi multi-kuadrat) dan $sc_j = \min_{j \neq i} (\|\vec{s}_j - \vec{s}_i\|)$.

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 $H_{ij} = h(\|\vec{s}_j - \vec{s}_i\|)$ dan $T_x = (t_1^x t_2^x \dots t_N^x)^t$, t_j^x adalah koordinat x dari \vec{t}_j . Maka dengan menggunakan kedua persamaan tadi, sistem dapat didefinisikan sebagai:

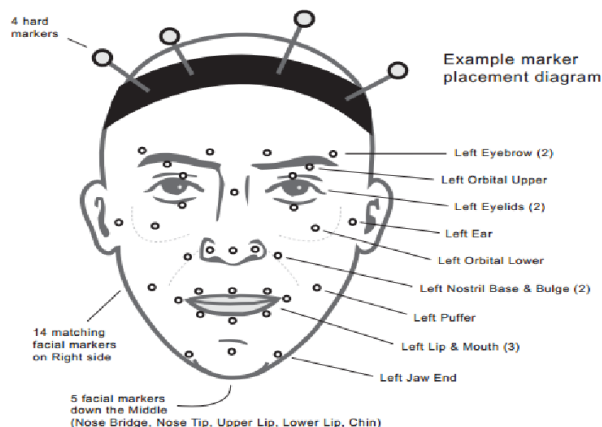
$$T_x = H \cdot W_x$$

dengan bobot $W_x = (\mathbf{w}_1^x \mathbf{w}_2^x \dots \mathbf{w}_N^x)^t$. Sehingga untuk menyelesaikan sistem 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 $F(\vec{s})$ yang dihasilkan.

Hasil dan Pembahasan

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 3 Acuan Penempatan Titik Fitur Pada Wajah Pada Optitrack

Gambar 3 acuan penempatan titik fitur pada wajah digunakan sebagai acuan untuk menempatkan penanda pada aktor. Model penempatan penanda ini membantu dalam proses perekam data untuk mendapatkan ekspresi wajah yang akan digunakan dalam proses selanjutnya.

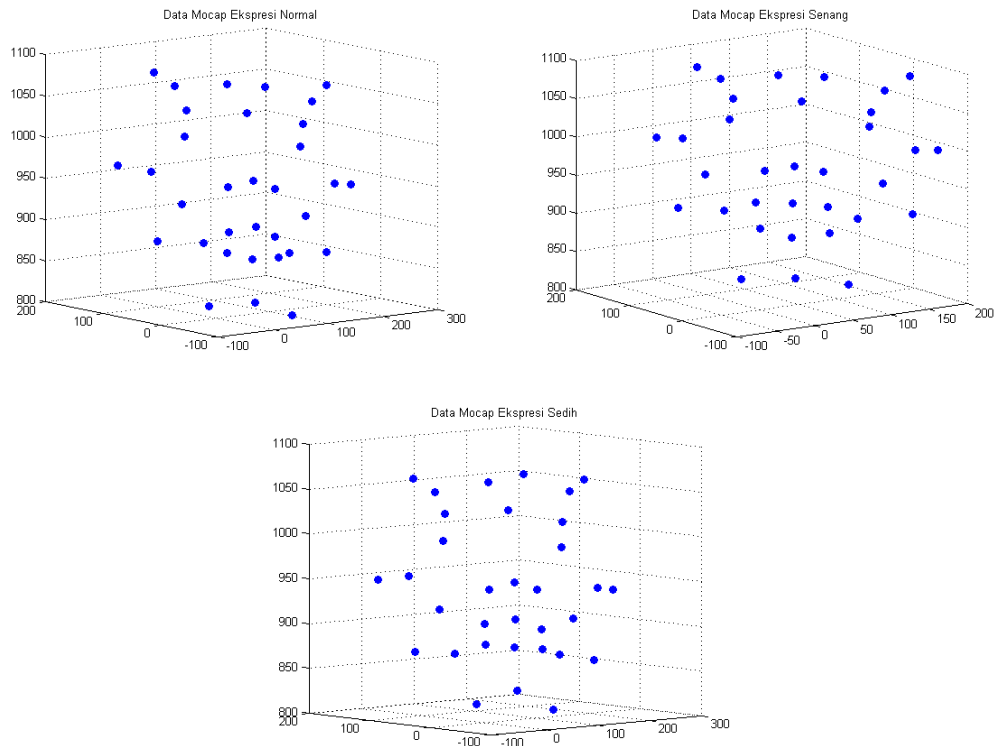
Proses berikutnya merupakan proses perekaman ekspresi wajah pada aktor. Aktor akan mempergarakan 6 ekspresi dasar yaitu marah, kaget, jijik, takut, senang dan sedih. Proses perekaman ekspresi dasar manusia pada actor di gambarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4 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

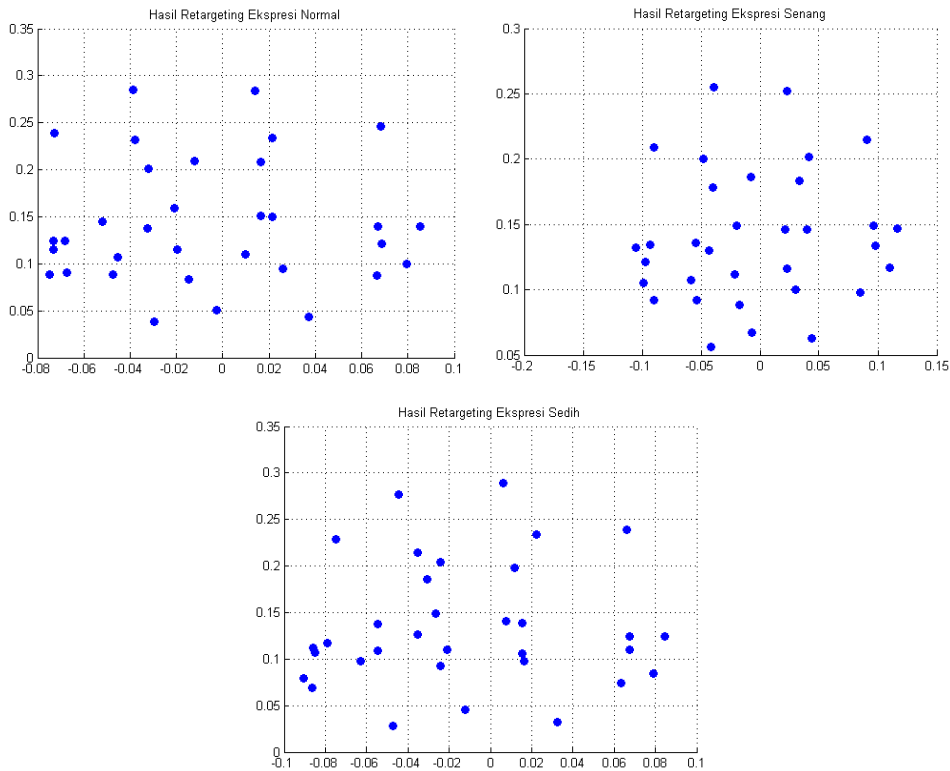
dari proses perekaman ekspresi wajah pada aktor disajikan dalam bentuk koordinat berikut ini.



Gambar 5 Data Facial Motion Capture Hasil Perekaman Ekspresi Wajah Pada Aktor Dalam Sistem Koordinat

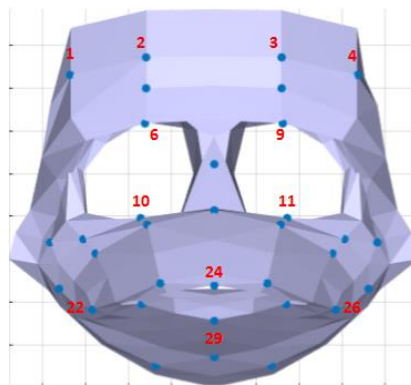
Transformasi Ruang *Radial Basis Function*

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.



Gambar 6 Hasil Transformasi *Radial Basis Function* Pada Model Wajah Karakter.

Untuk mengetahui perpindahan titik fitur pada model wajah karakter angsa, dilakukan perhitungan terhadap perpindahan titik fitur hasil dari proses RBF. Sebagai pembahasan, diambil 12 titik fitur dari model karakter wajah manusia masing-masing model wajah karakter angsa yang dianggap mewakili pembentukan ekspresi wajah. Gambar 7 menyajikan 12 titik fitur yang digunakan sebagai pembahasan.



Gambar 7. Posisi Titik Fitur Yang Digunakan Sebagai Pembahasan Pada Model Wajah Karakter

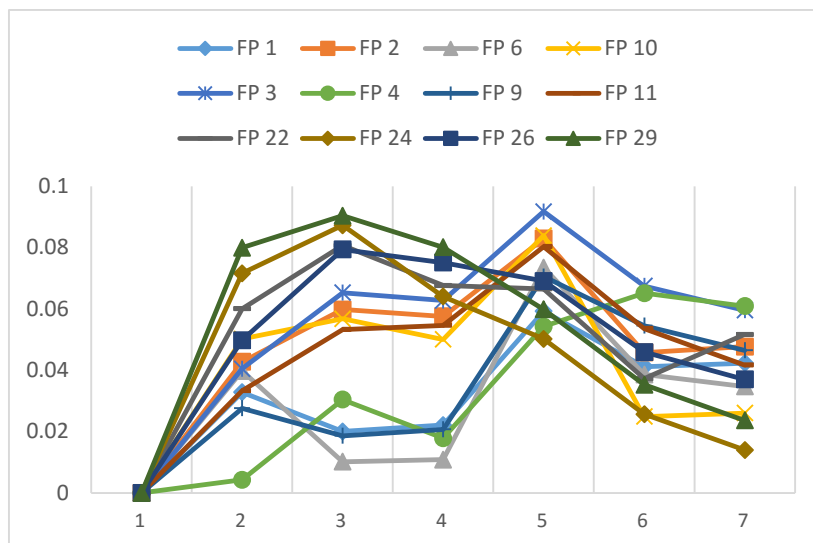
Gambar 7 merupakan posisi titik fitur dari model wajah karakter virtual 3 dimensi yang digunakan. Proses transformasi ruang RBF memberikan hasil berupa koordinat dari masing-masing titik fitur yang telah mengalami proses transformasi.

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. Perubahan titik fitur dari hasil transformasi ruang pada model wajah karakter disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 1 Hasil Perpindahan Titik Fitur Pada Model Wajah Karakter

Titik Fitur	Frame					
	0	1	3	4	5	6
1	0	0.03280	0.020024	0.02211	0.059241	0.041181
2	0	0.04272	0.059789	0.057581	0.082912	0.045776
3	0	0.04050	0.065297	0.062741	0.091738	0.067496
4	0	0.00427	0.030397	0.017814	0.054299	0.065131
6	0	0.03977	0.010187	0.010849	0.07348	0.038599
9	0	0.02760	0.018642	0.020701	0.070584	0.05456
10	0	0.05022	0.056786	0.050035	0.083938	0.024906
11	0	0.03332	0.053281	0.054624	0.080323	0.053586
22	0	0.06005	0.080672	0.067613	0.066525	0.037248
24	0	0.07162	0.087274	0.064013	0.050202	0.025655
26	0	0.04978	0.07937	0.075106	0.069093	0.045906
29	0	0.07993	0.090387	0.080111	0.059878	0.035261

Pada frame ke-0, data perubahan perpindahan bernilai 0, hal ini dikarenakan frame 0 merupakan *frame* dimana pergerakan titik fitur dimulai. Pada frame selanjutnya (1 – 7) terjadi perpindahan frame yang menandakan adanya pergerakan titik fitur.



Gambar 8. Grafik Perpindahan Titik Fitur Pada Model Wajah

Dari grafik pada gambar 8 diketahui bahwa terjadi perpindahan titik fitur wajah pada model wajah karakter angsa. 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.

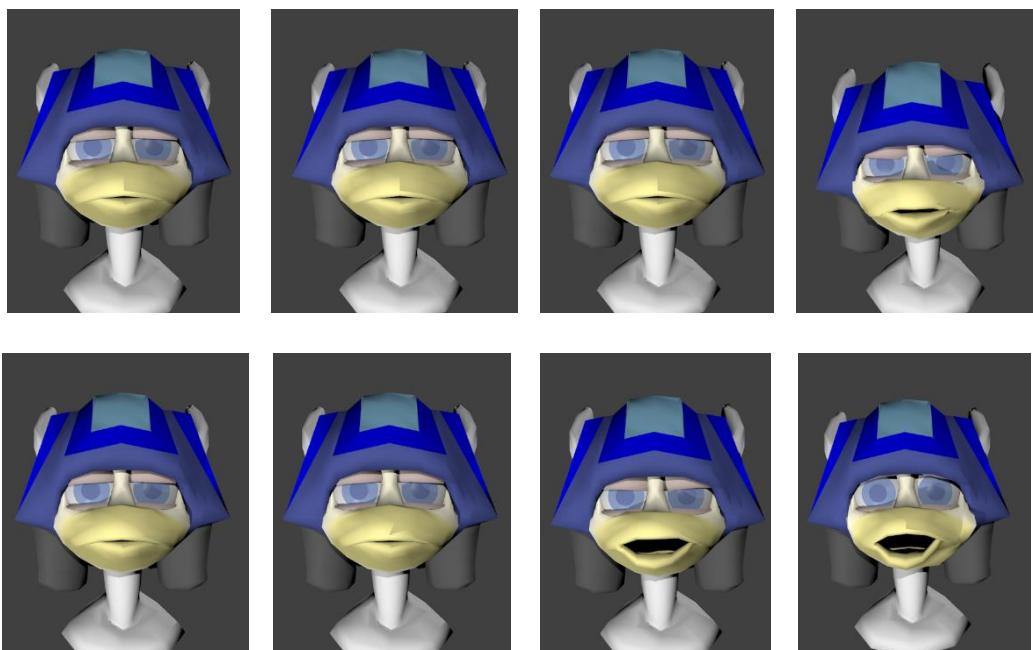
Tingkat kesesuaian hasil proses transformasi ruang RBF pada model wajah karakter manusia dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan standar deviasi atau simpangan baku antara data *facial motion capture* dengan data hasil proses transformasi RBF. Hasil perhitungan standar deviasi untuk semua titik fitur pembentuk animasi wajah pada model karakter dapat dilihat pada tabel 2. Hasil transformasi ruang pada model wajah karakter memiliki tingkat standar deviasi sebesar 0.0034.

Tabel 2 Standar Deviasi Titik Fitur Pembentuk Animasi Wajah Pada Model Wajah Karakter.

Titik Fitur	Standar Deviasi
1	0.0177
2	0.0233
3	0.0265
4	0.0251
6	0.0231
9	0.0224
10	0.0251
11	0.0228
22	0.0247
24	0.0299
26	0.0255
29	0.0314
Rata-Rata Standar Deviasi	0.0034

Deformasi Mesh

Untuk mendapatkan hasil secara visual, dilakukan proses deformasi mesh dengan bantuan perangkat lunak Blender 3D versi 2.70. Hasil yang didapatkan berupa model karakter virtual 3D yang dapat melakukan ekspresi wajah sama seperti data *facial motion capture* yang didapatkan dari hasil perekaman aktor manusia.



Gambar 9. Hasil Animasi Wajah Pada Model Wajah Karakter Virtual 3 Dimensi

Kesimpulan dan Saran

Teknik penggunaan ulang animasi (*retargeting*) dengan menggunakan transformasi ruang berbasis *Radial Basis Function* (RBF) menghasilkan ekspresi karakter yang mengikuti gerakan aktor dan mendekati ekspresi yang sama dengan aktor. Transformasi ruang RBF merupakan teknik dengan pendekatan *linier* sehingga tidak membutuhkan komputansi yang rumit. Teknik penggabungan titik fitur dengan mesh model pada tahapan deformasi *mesh* memberikan bentuk visual dari hasil transformasi RBF. Transformasi ruang RBF memberikan solusi dalam pembentukan animasi wajah yang sesuai dengan gerakan aktor dan bergantung pada kebutuhan untuk mengendalikan *bone system*, *blendshape weight*, dan parameter lain dalam pembentukan animasi wajah yang spesifik.

Kompleksitas pada penelitian ini dapat ditingkatkan dengan membangun sistem transfer animasi ekspresi wajah yang real time. Proses transformasi ruang ekspresi wajah juga dapat dicoba dengan pendekatan lain, misalnya menggunakan pendekatan *geodesic distance* dimana pendekatan tersebut melakukan pengukuran terhadap *surface* wajah sehingga memungkinkan untuk mendapatkan proses transformasi ruang yang lebih baik pada berbagai model wajah.

Referensi

- Beier, T., & Neely, S. (1992). Feature-based image metamorphosis. *SIGGRAPH Proceedings* (pp. 35-42). ACM Press.
- Choe, B., Lee, H., & Ko, H. (2001). Performance driven muscle based facial animation. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 12(2), 67-79.
- Coquillart, S. (1990). Extended free-form deformation: A sculpturing tool for 3d geometric modeling. *Computer Graphics*, 24, 187-193.
- Deng, Z., Chiang, P., Fox, P., & Neumann, U. (2006). Animating blendshape faces by cross-mapping motion capture data. *Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games*, (pp. 43-48).
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial Action Coding System: a technique for the measurement of facial movement*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.

- Hjortsjo, C. (1970). *Man's Face and Mimic Language*. Malm: Nordens Boktryckeri.
- Kalra, P., Mangili, A., Thalmann, N., & Thalmann, D. (1992). Simulation of facial muscle actions based on rational free from deformations. *Eurographics, vol 11*, (pp. 59–69).
- Noh, J., & Neumann, U. (2001). Expression cloning. *Proceedings of the 28th annual conference on computer graphics and interactive techniques* (pp. 277-288). SIGGRAPH.
- Orvalho, V. C., Zacur, E., & Susin, A. (2006). Transferring Facial Expressions to Different Face Models. *Ibero-American Symposium on Computer Graphics - SIACG (2006)*. The Eurographics Association.
- Parke, F. (1972). Computer Generated Animation of Face. *Proceedings of the ACM annual conference* (pp. 451-457). ACM.
- Parke, F., & Waters, K. (2008). *Computer Facial Animation 2nd Edition*. Massachusetts: AK Peters.
- Pighin, F., Auslander, J., Lischinski, D., Salesin, D., & Szeliski, R. (1997). *Realistic facial animation using image-based 3d morphing*.
- Pyun, H., Kim, Y., Chae, W., Kang, H. W., & Shin, S. (2003). An example-based approach for facial expression cloning. *Proc. of Symposium on Computer Animation*, (pp. 167–176).
- Sederberg, T., & Parry, S. (1996). Free-form deformation of solid geometry models. *Computer Graphics, SIGGRAPH, volume 20*, 151–160.
- Sifakis, E., Neverov, I., & Fedkiw, R. (2005). Automatic determination of facial muscle activations from sparse motion capture marker data. *ACM Trans. Graph 24(3)*, (pp. 417–425).
- Singh, K., & Fiume, E. (1998). Wires: A geometric deformation technique. *SIGGRAPH Proceedings*, (pp. 405–414).
- Sumner, R. W., & Popovic, J. (2004). Deformation transfer for triangle meshes. *ACM Trans. Graph., 23(3)*, 399–405.
- Thalmann, N. M., & Thalmann, D. (1996). *Interactive Computer Animation*. Prentice Hall.
- Viad, M., & Yahia, H. (1992). Facial animation with wrinkles. *Proceedings of the Third Eurographics Workshop on Animation and Simulation*.

Waters, K. (1987). A muscle model for animating three-dimensional facial expression. *SIGGRAPH Proceedings, volume 21*, (pp. 17–24).