

Human Motion Capture Berbasis Bebas-Model Menggunakan Penanda Fitur Multi Warna Terparameter

Samuel Gandang Gunanto

Program Studi Animasi, Fakultas Seni Media Rekam,
Institut Seni Indonesia Yogyakarta
email: sgandang@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi visi komputer yang sedang berkembang saat ini adalah pengembangan di ranah ilmu seni kreatif digital, seperti animasi dan game. Di bidang ini, teknologi visi komputer berperan pada sistem penangkapan gerak manusia untuk membangkitkan animasi gerak model 3D oleh model manusia sesungguhnya melalui penangkapan kamera. Dengan sistem ini gerak animasi yang dihasilkan lebih natural, namun ketersediaan alat dan pemanfaatan teknologi ini di dunia animasi Indonesia masih sangat minim dikarenakan mahal nya harga alat dan perangkat lunak yang dipakai.

Kehandalan sistem ini ditentukan oleh ketepatan estimasi dari pose model, sehingga penentuan tiap segmen tubuh manusia di tahapan awal merupakan kunci keberhasilannya. Penelitian ini merekayasa penanda dengan fitur multiwarna pada sistem penangkapan gerak manusia. Penanda diposisikan pada sendi gerak manusia secara melingkar yang masing-masing warna bersifat unik. Selain murah dan mudah diterapkan, aspek kenyamanan dan keluwesan dalam gerak juga menjadi pertimbangan penerapan penanda ini.

Kalibrasi Bouguet untuk 3 kamera yang dipakai berkisar antara 0,11-0,16 piksel. Sedangkan deteksi warna metode Giannakopoulos pada kasus ini mempunyai nilai kesalahan sebesar 0,074582. Kedua nilai tersebut mendukung rekonstruksi dan estimasi pose figur tongkat manusia secara 3D yang cukup baik, meskipun secara kuantitatif memiliki nilai kesalahan estimasi titik posisi fitur 3D sebesar 4,54 cm.

Kata Kunci : fitur multiwarna, *human motion capture*, basis penanda, bebas-model, animasi, game.

Abstract

The utilization of computer vision technology is being developed at this time is the development of science in the realm of digital creative arts, such as animations and games. In this field, computer vision technology plays a role in human motion capture system for generating motion animation of 3D models by real human models through the capture of the camera. With this system of motion generated animation more natural, but the availability of tools and utilization of this technology in the world of animation Indonesia is still very low due to the high price of tools and software used.

The reliability of the system is determined by the accuracy of the estimation of the pose of a model, so that the determination of each segment of the human body in the early stages is the key to success. This research manipulate with features multicolored markers on human motion capture system. Markers are positioned on the joints of human motion in a circle, each color is unique. In addition to cheap and easy to implement, aspects of convenience and flexibility in motion are also taken into consideration the application of these markers.

Calibration Bouguet to 3 cameras used ranged from 0.11 to 0.16 pixels. While the color detection method Giannakopoulos in this case has a value of error of 0.074582. Both values are supporting reconstruction and pose estimation of human stick figures in 3D is quite good, although quantitatively has a point value of the position estimation error of 4.54 cm 3D features.

Keywords: multicolor feature, human motion capture, marker based, free models, animation, game.

Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi visi komputer sudah ada di berbagai bidang ilmu. Salah satunya yang sedang berkembang saat ini adalah pengembangan di ranah ilmu seni kreatif digital, seperti animasi dan game. Di bidang ini, teknologi visi komputer berperan di area produksi (Perales, 2002). Waktu produksi yang pada umumnya memakan waktu lama dapat dipersingkat secara signifikan.

Teknologi visi komputer yang berperan penting di bidang animasi dan game sebagai pengatur gerak model virtual adalah penangkapan gerak manusia atau *human motion capture*. Namun ketersediaan alat dan implementasinya di dunia animasi masih sangat minim dikarenakan mahalnya alat dan perangkat lunak yang dipakai (Shipley & Brumberg, 2005; Perales, 2002).

Prinsip utama dari penangkapan gerak manusia adalah pembangkitan animasi gerak model 3D oleh model manusia sesungguhnya melalui penangkapan kamera

(Aggarwal & Cai., 1999). Keandalan sistem ini ditentukan oleh ketepatan estimasi dari pose model, sehingga penentuan tiap segmen tubuh manusia di tahapan awal merupakan kunci keberhasilannya. Semakin akurat proses deteksi obyeknya, makin handal sistem yang dibangun (Perales, 2002; Moeslund, 1999).

Penelitian ini mengusulkan kombinasi penggunaan sistem penangkapan gerak manusia dengan penanda dan tanpa penanda dengan rekonstruksi 3D multikamera. Penjejakan berbasis penanda ini banyak dipakai oleh sektor industri dikarenakan ketepatannya dalam penentuan sendi, sehingga dapat dikumpulkan dengan mudah sebagai informasi titik sendi pergerakan di ruang 3 dimensi (Shipley & Brumberg, 2005). Sebagai alternatif, penanda pada penelitian ini akan digantikan dengan fitur warna yang diindek sesuai posisinya, sehingga akan menghemat dari segi biaya. Sedangkan sistem penangkapan gerak manusia tanpa penanda mulai diimplementasikan sebagai penyelesaian masalah mahalannya alat dan ketidakmampuan prediksi penanda di skeletal tubuh (Poppe, 2007). Selain itu dengan tanpa penanda, model manusia dapat dengan luwes bergerak dibandingkan dengan penanda (Zhou & Hu, 2004). Sehingga dengan menggabungkan hal-hal tersebut diharapkan sistem ini dapat menjadi sistem yang tepat guna, baik dari segi harga yang murah maupun keakuratan hasil yang didapatkan

Tinjauan Pustaka

Penglihatan manusia menginter-pretasikan figur yang bergerak menggunakan model bentuk yang telah dipelajari sesuai pengalaman sebelumnya. Hal ini kemudian mengilhami metode analisis pergerakan tubuh manusia untuk menggunakan model sebagai pola kecocokan terhadap gambar yang diberikan. Ada 3 buah representasi model yang sering digunakan: figur tongkat, kontur 2D, dan model volumetrik 3D (Aggarwal & Cai., 1999).

Representasi manusia dengan model persendian atau model figur tongkat adalah teknik permodelan yang sering dipakai karena mewakili fitur anatomi manusia (Moeslund, 1999). Fitur ini dipakai dengan beragam asumsi yang diterapkan demi kemudahan dan keandalan sistem yang dibangun.

Inisialisasi penangkapan gerak manusia berbasis visi sering membutuhkan definisi model humanoid dengan pendekatan bentuk, penampakan, struktur

kinematik, dan pose subyek awal yang akan dijejaki. Di beberapa algoritma estimasi pose 3D, inialisasi model yang umum dipakai adalah dengan inialisasi panjang anggota badan dan bentuk yang dibuat secara manual. Proses otomatisasi sebuah inialisasi dan peningkatan kualitas penjejakan bisa didapatkan melalui perbaikan akurasi rekonstruksi subyek dengan penggunaan citra hasil multi sudut pandang. Informasi manusia berupa struktur kinematik, bentuk 3D, tampilan warna, pose, atau tipe gerakan yang digunakan sebagai batasan penjejakan dan estimasi pose di tahapan inialisasi dapat juga digunakan sebagai salah satu cara peningkatan akurasi rekonstruksi subyek (Moeslund, Hilton, & Kruger, 2006).

Sistem penjejakan gerak manusia membangkitkan data yang mewakili gerakan manusia berbasis teknologi sensor secara seketika. Jika ditinjau berdasarkan letak sensor di tubuh manusia, sistem penjejakan dapat dikelompokkan ke: basis tanpa visi, basis visi dengan penanda, basis visi tanpa penanda, dan sistem perbantuan robot (Zhou & Hu, 2004). Namun penelitian yang banyak dikembangkan berkisar pada sistem penjejakan berbasis visi dikarenakan faktor peralatan yang lebih murah dibandingkan sistem yang lainnya.

Pada penjejakan berbasis visi, sensor yang digunakan adalah kamera. Jika berbasis penanda, letak penanda digunakan untuk memandu penjejakan di bagian-bagian tubuh tertentu. Sistem ini sering menghasilkan penjejakan yang kurang konsisten dikarenakan adanya penangkapan data titik yang hilang dan muncul kembali oleh kamera. Peristiwa ini terjadi disebabkan tertutupnya penanda oleh bagian tubuh yang lainnya. Selain itu, dengan basis penanda prediksi skeletal tubuh manusia kurang akurat (Zhou & Hu, 2004). Sedangkan sistem penangkapan gerak manusia tanpa penanda mulai diimplementasikan sebagai penyelesaian masalah mahalnya alat berbasis penanda dan ketidakmampuan prediksi penanda di skeletal tubuh (Poppe, 2007).

Proses penjejakan pergerakan manusia dibagi dalam 2 proses: segmentasi figur utama dan korespondensi temporal. Segmentasi figur utama adalah proses pemisahan obyek penelitian atau manusia terhadap obyek lainnya di citra yang diidentifikasi sebagai latar belakang. Sedangkan korespondensi temporal adalah proses asosiasi manusia atau bagian tubuh manusia yang terdeteksi di frame yang sedang diamati terhadap frame sebelumnya (Moeslund, Hilton, & Kruger, 2006).

Proses segmentasi merupakan proses awal sebelum dilakukannya penjejakan. Proses ini dikerjakan berdasarkan unsur gerak, tampilan, bentuk, atau data kedalaman. Segmentasi yang berdasarkan informasi tampilan, salah satunya adalah nilai warna (Gunanto, 2009).

Estimasi pose adalah proses estimasi konfigurasi data kinematik atau struktur sambungan skeletal dari manusia. Proses ini merupakan bagian integral dari proses penjejakan seperti pada pendekatan berbasis model di metode analisis dengan sintesis atau merupakan hasil observasi langsung dari seluruh frame. Algoritma estimasi pose secara umum dapat dikategorikan menjadi 3 buah berdasarkan permodelan manusianya:

1. Bebas-model, kategori ini tidak menggunakan model secara eksplisit dan bekerja dengan pendekatan *bottom-up* untuk menjejaki dan melabeli anggota tubuh di citra 2D (Wren, Azarbajani, Darrell, & P., 1997) atau memetakannya langsung dari citra sekuensial 2D ke pose 3D.
2. Model tidak langsung, yang menggunakan informasi estimasi pose model dalam bentuk referensi atau tabel *look-up* sebagai panduan interpretasi data, khususnya pada proses pengenalan pose (Haritaoglu, Harwood, & Davis, 1998).
3. Model langsung, yang menggunakan model geometri 3D secara eksplisit sebagai representasi bentuk manusia dan struktur kinematik pada proses rekonstruksi pose. Pendekatan yang banyak dipakai adalah metode analisis dengan sintesis yang mengoptimalkan kemiripan antara proyeksi model dan citra teramati (Wachter & Nagel, 1999).

Kalibrasi kamera pada konteks mesin visi 3 dimensi adalah sebuah proses penentuan geometri kamera internal dan karakteristik optikal (parameter intrinsik) dan/atau posisi 3D dan orientasi relatif kerangka kamera terhadap sistem koordinat dunia (parameter ekstrinsik) (Tsai, 1987). Pada banyak kasus, keseluruhan unjuk kerja sistem mesin visi sangat tergantung pada akurasi kalibrasi kamera. Pada kasus ini digunakan metode kalibrasi Bouguet (Bouguet, 1999) yang merupakan pengembangan dari kalibrasi Tsai (Tsai, 1987).

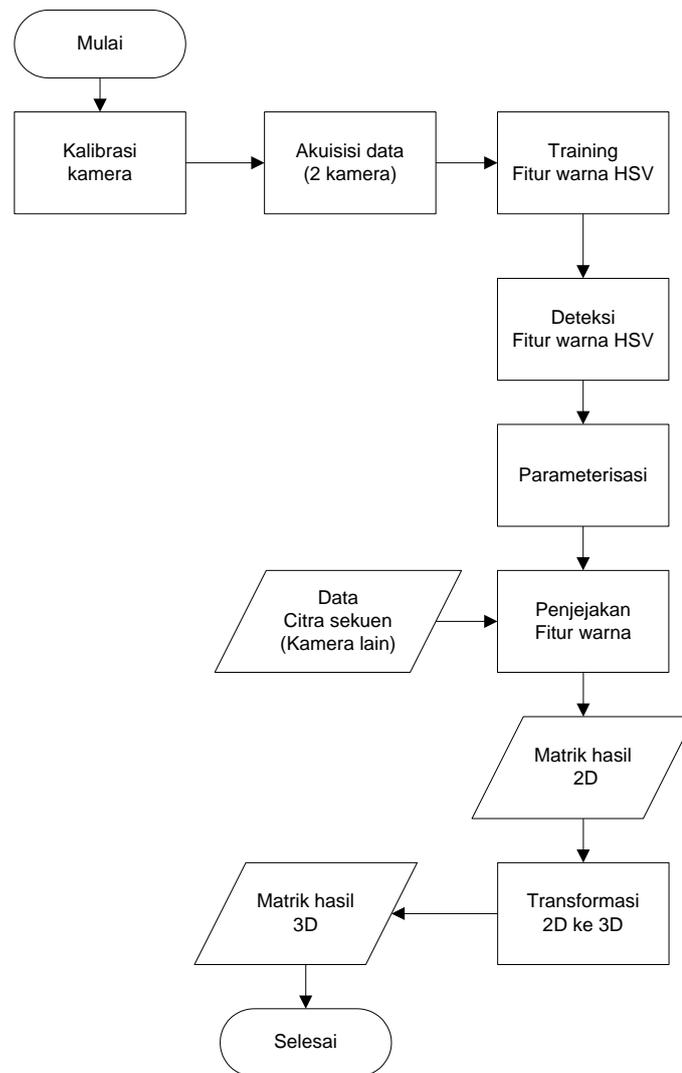
Pendekatan segmentasi yang umum dipakai adalah berbasis intensitas, berbasis warna, dan berbasis bentuk (Rujikietgumjorn, 2008). Pada penelitian ini, segmentasi figur utama menggunakan segmentasi berbasis warna. Segmentasi warna bekerja dengan mengenali informasi warna dari setiap piksel dan mengelompokkannya sesuai fitur yang diinginkan dan tingkat kesamaannya. Segmentasi berdasarkan warna dapat juga dilakukan dengan cara deteksi warna di ruang warna HSV menggunakan metode Giannakopoulos (Gunanto, 2009; Giannakopoulos, 2008; Zhao, Bu, & Chen, 2002).

Perkembangan penelitian di area rekonstruksi 3D mengarah pada proses rekonstruksi 3D pergerakan manusia secara otomatis dari video. Metodologi *analysis-by-synthesis* merupakan pioner dengan menggunakan basis model. Hal ini kemudian memicu dikembangkannya metode rekonstruksi berbasis *multiview* kamera untuk meningkatkan aspek kehandalan dari estimasi pose (Moeslund, Hilton, & Kruger, 2006).

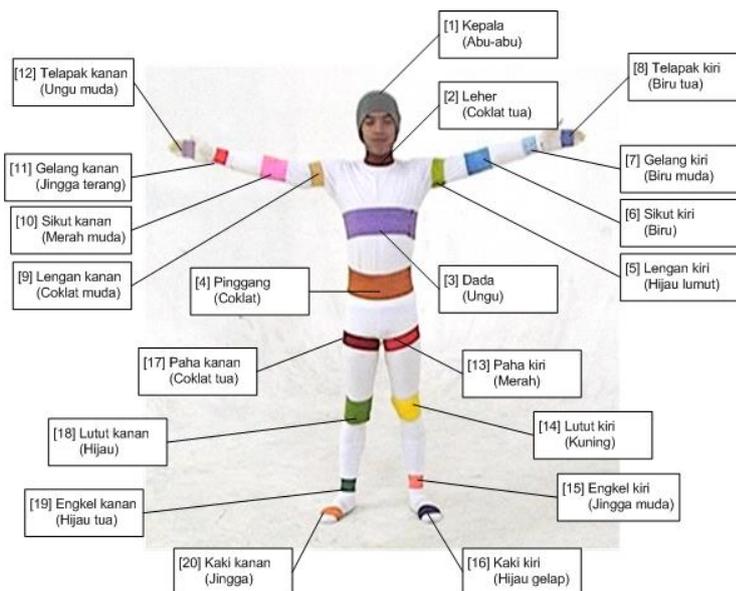
Selain itu, metode rekonstruksi 3D berbasis model dapat juga dilakukan dengan menggunakan model bentuk manusia secara umum dan struktur kinematik. Pendekatan ini memungkinkan estimasi pose bagian tubuh yang akurat secara anatomi dan konsistensi struktur secara sekuensial. Pendekatan basis model membutuhkan informasi bentuk manusia untuk mengatasi ambiguitas visual hasil rekonstruksi *multiview* dari banyak kamera (Starck & Hilton, 2003). Jika tangkapan kamera mengindikasikan terjadinya *lost-tracking*, maka akan dicari keberadaan fitur tersebut di tampilan citra sekuensial tangkapan kamera lainnya sehingga semua fitur dapat dijejaki dan didapatkan posisinya di ruang 3D menggunakan teknik triangulasi.

Metode Eksperimen

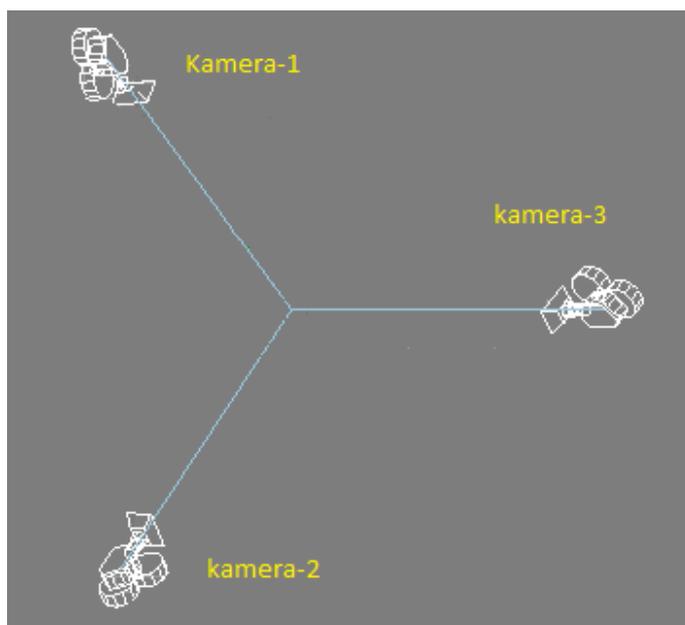
Secara umum penelitian ini dilakukan dengan metode eksplorasi eksperimentatif dengan tahapan seperti pada Gambar 1. Dengan desain kostum dan tata ruang studio yang diatur menggunakan skema Gambar 2 dan Gambar 3



Gambar 1. Alur eksperimen



Gambar 2. Desain Kostum

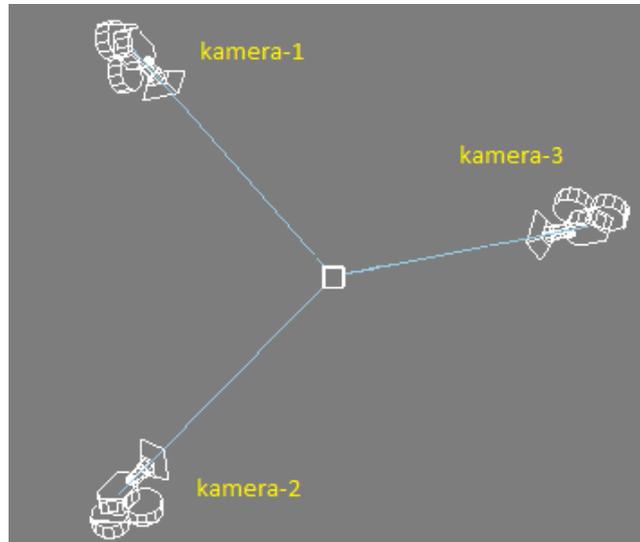


Gambar 3. Tata Letak Kamera Tampak Atas (Optimum Teoritis)

Analisa

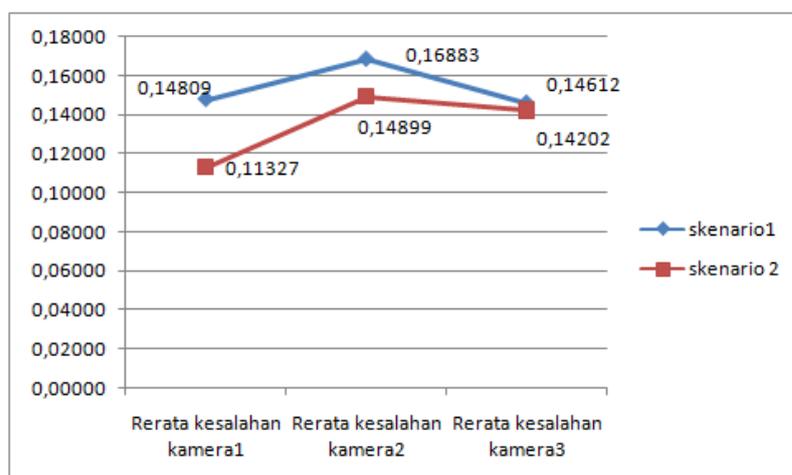
Kalibrasi kamera dilakukan dengan 2 buah skenario peletakan kamera yang berbeda. Kedua skenario ini berdasarkan dari tata letak optimum teoritis penempatan 3 buah kamera dan berdasarkan empiris tata letak kamera terbaik berdasarkan cakupan tangkapan obyek dan luasan ruangan studio. Hal ini dilakukan

untuk memilih hasil uji peletakan kamera yang terbaik dalam menangkap obyek dilihat dari hasil kalibrasi dan nilai kesalahan reprojeksinya.

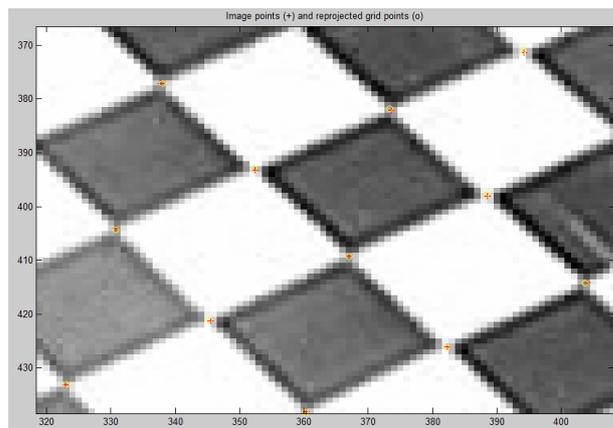


Gambar 4. Tata Letak Kamera Tampak Atas (Optimum Empiris)

Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan bahwa hasil kalibrasi keduanya secara umum masih dibawah 0,25 piksel yang berarti masih dikategorikan baik. Bahkan secara empiris, menurut Bouguet (Bouguet, 2008) nilai kesalahan reprojeksi piksel yang berkisar nilai 0,12 atau masih di bawah nilai 0,2 masih dinyatakan nilai yang baik, sehingga hasil kalibrasinya sudah dapat dikatakan hasil kalibrasi yang baik pula.



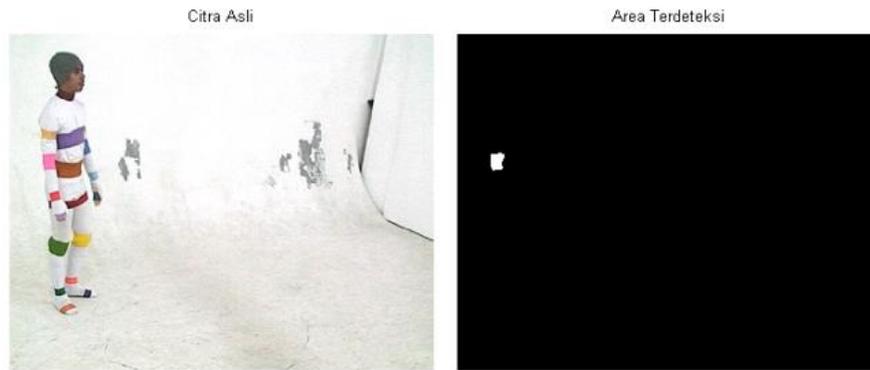
Gambar 5. Rerata Kesalahan Reproyeksi Piksel Untuk Masing-Masing Kamera



Gambar 6. Contoh Hasil Perbesaran Reproyeksi Titik Grid Ke Titik Citra

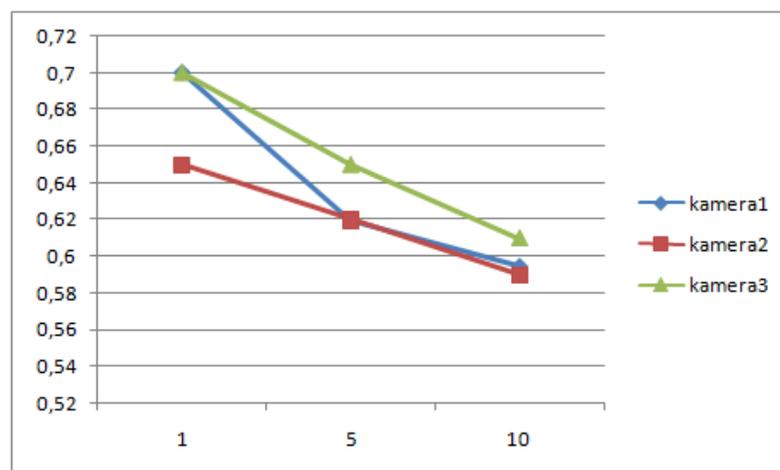
Pada pelatihan warna dilakukan sesuai metode yang dilakukan oleh Giannakopoulos (Giannakopoulos, 2008). Setiap warna pelatihannya dilakukan pada 10 sampel citra yang masing-masing citra diambil acak area piksel 5x5 sebanyak 5 area, sehingga secara keseluruhan untuk 1 buah warna memiliki pelatihan: $5 \times 5 \times 5 \times 10 = 1250$ piksel sampel. Pelatihan ini dilakukan pada obyek primitif diam dan obyek manusia diam. Hasil pelatihan pada obyek manusia nantinya akan digunakan untuk deteksi fitur warna pada obyek manusia bergerak.

Setelah masing-masing fitur didapatkan nilai HSV-nya, maka dapat dipetakan parameter warnanya untuk setiap bagian yang diwakilinya, seperti pojok kubus pada obyek diam ataupun bagian tubuh pada obyek manusia. Untuk memudahkan deteksi warna yang berdampak pada deteksi fitur yang bersesuaian, maka dibentuklah matrik fitur yang berisi nomor identitas dan nilai HSV. Nilai identitas disesuaikan dengan korelasinya dengan bagian yang diwakili, sedangkan HSV adalah identitas warna fitur tersebut yang tertangkap di citra sesuai hasil pelatihan data warna.



Gambar 7. Hasil Deteksi Fitur

Namun untuk akurasi deteksi optimum, deteksi warna dengan morfologi saja tidaklah cukup. Hal ini dikarenakan banyaknya warna yang digunakan, $n=20$, dan masih ada beberapa warna yang terdeteksi masuk dalam toleransi warna lainnya dikarenakan adanya faktor iluminasi cahaya yang serupa dan warna yang digunakan merupakan turunan warna yang lainnya. Jika hanya menggunakan deteksi warna dan morfologi saja, akurasi deteksi fitur dengan tepat hanyalah berkisar 60%-70% saja. Nilai ini didapatkan dari pengujian 1, 5 dan 10 sampel data di setiap kamera.

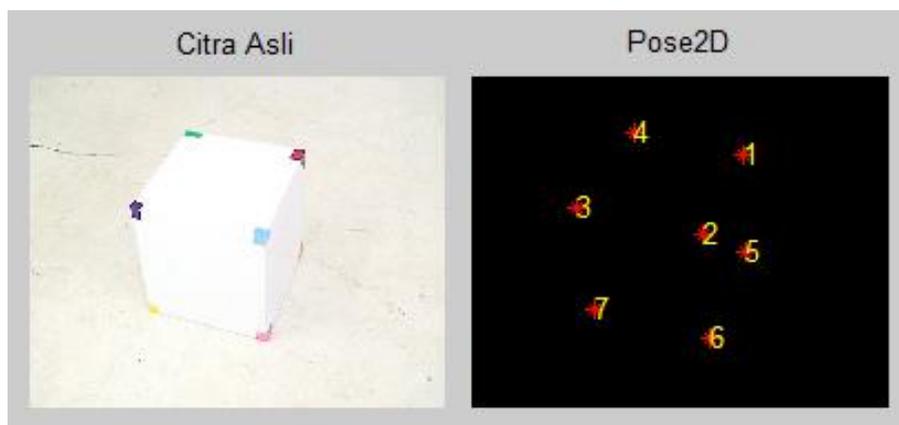


Gambar 8. Grafik Akurasi Hasil Deteksi Warna

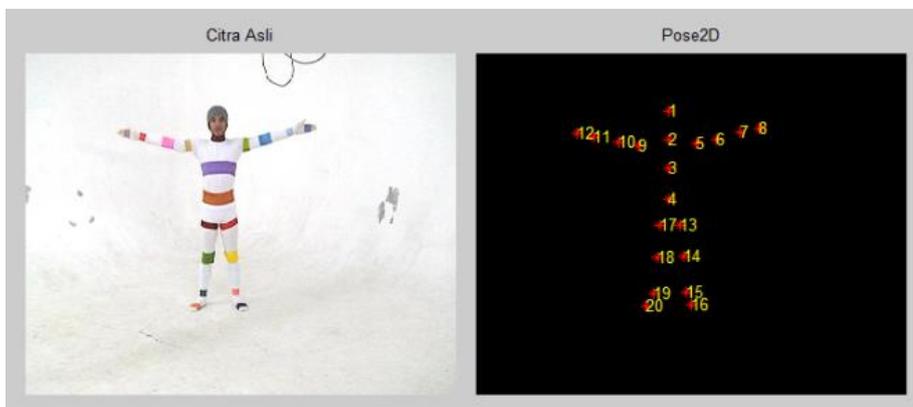
Untuk meningkatkan nilai akurasi deteksi fitur, maka dilakukan inisialisasi letak titik berat fitur di frame pertama pada setiap pose yang akan diekstraksi. Titik ini nantinya akan berfungsi secara otomatis mengontrol ketepatan temporal

koherensi antar *frame* untuk setiap ekstraksi fitur berdasarkan warnanya dan letak fitur dengan diwakili titik momennya menggunakan nilai jarak Euclidean.

Setelah semua *frame* di deteksi dan dicatat nilai titik momen untuk setiap fitur, maka pose 2D dibentuk dan distrukturisasi sesuai parameter warnanya. Nilai parameter ini nantinya akan berfungsi sebagai nilai penjejukan jika dijumpai fitur yang hilang. Parameter ini konstan disemua *frame* dan di semua kamera, sehingga nantinya akan mempermudah proses rekonstruksi pose 3D.



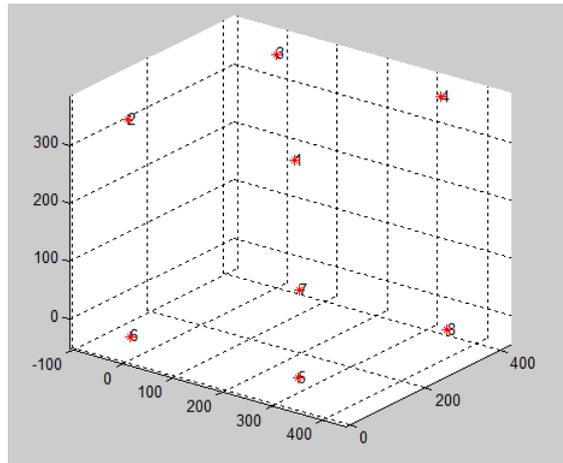
Gambar 9. Pose 2D Obyek Primitif Kotak



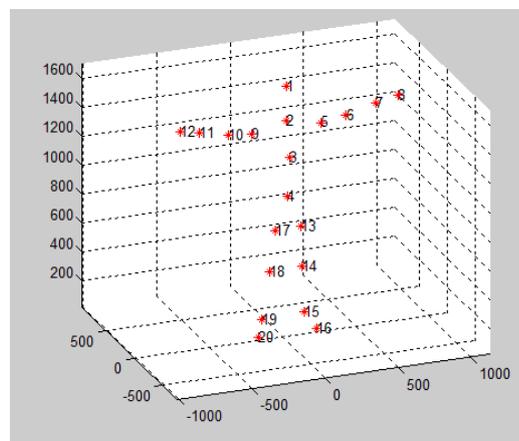
Gambar 10. Pose 2D Obyek Manusia

Ketentuan dasar dari prinsip *triangulation* adalah fitur minimal tampak di 2 kamera. Berdasarkan nilai kalibrasi intrinsik dan ekstrinsik dihitunglah nilai titik 3D dari setiap fitur yang ada. Jika dijumpai rekonstruksi hasil dari kombinasi 3 kamera, maka dihitung nilai perwakilannya dengan nilai reratanya. Sedangkan jika fitur hanya didapatkan pada 2 kamera saja, maka sebagai titik penjejukan di *frame*

berikutnya harus dilakukan proses transfer titik 3D ke titik 2D citra kamera yang tidak terdeteksi titik fiturnya. Proses transfer ini dilakukan untuk menjaga temporal koherensi suatu penjejukan fitur. Hasil rekonstruksi 3D dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.

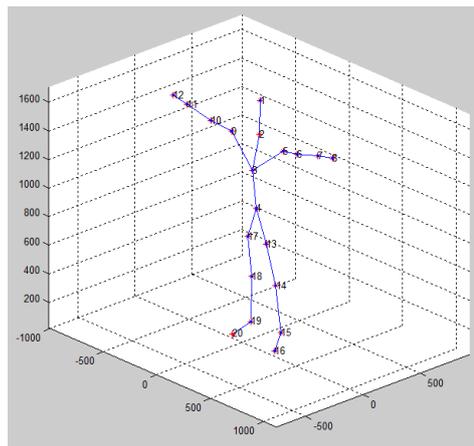


Gambar 11. Rekonstruksi titik fitur 3D obyek primitif kotak



Gambar 12. Rekonstruksi titik fitur 3D obyek manusia

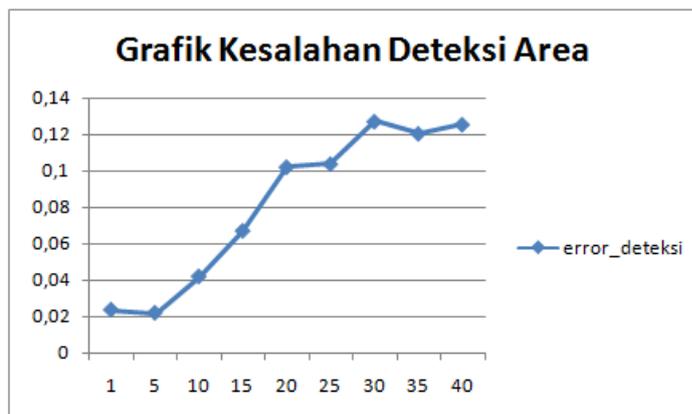
Dan setelah dibangun figur tongkatnya sebagai gambaran skeletal manusia, maka didapatilah Gambar 13.



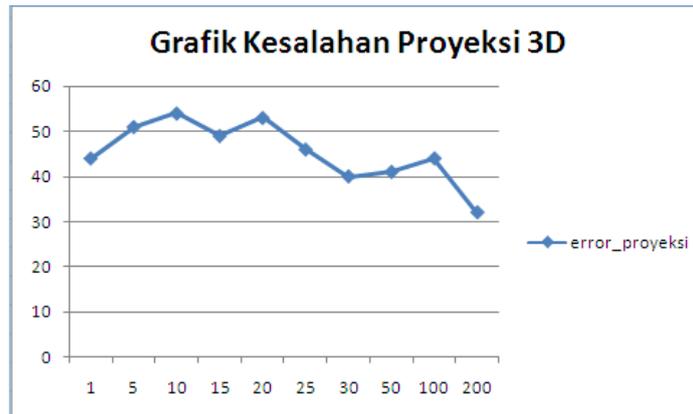
Gambar 13. Rekonstruksi Figur Tongkat 3D Obyek Manusia

Evaluasi Kinerja Sistem

Pada sistem ini analisis kinerjanya diukur dengan 3 buah nilai kesalahan, yaitu nilai kesalahan reprojeksi pada proses kalibrasi, nilai kesalahan deteksi area, dan nilai kesalahan proyeksi fitur 3D. Nilai kesalahan reprojeksi piksel secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5 dan mempunyai rerata dari ketiga kamera sebesar 0,144553 piksel. Sedangkan grafik nilai kesalahan deteksi area dapat dilihat pada Gambar 14. Dan grafik nilai kesalahan proyeksi fitur 3D pada Gambar 15.



Gambar 14 Grafik Kesalahan Deteksi Area



Gambar 15. Grafik Kesalahan Proyeksi Titik 3D

Kedua grafik di atas mempunyai perwakilan nilai kesalahan deteksi area fitur sebesar 0,0745 atau 7,45 persen dan nilai kesalahan titik proyeksi fitur 3D sebesar 4,54 cm atau 45,4 mm. Dari ketiga komponen tersebut dapat dinyatakan bahwa hasil sistem kalibrasi sudah cukup baik, begitu juga hasil area deteksi. Namun Nilai kesalahan proyeksi masih termasuk cukup besar walaupun pose mampu dibangkitkan dan keadaan nilai kesalahan tersebut tidak berdampak besar terhadap pose 3D dan gerak keseluruhan. Hal ini terjadi dikarenakan dua hal, yaitu: pertama, rekonstruksi area terjadinya oklusi atau tertutup oleh bagian tubuh lainnya kurang tepat dan kedua, pemilihan titik momen perwakilan fitur yang sebagian terkena oklusi kurang tepat.

Kesimpulan

Deteksi warna penanda segmen bagian tubuh manusia yang akan dijadikan indek penjejakan di sistem penangkapan gerak manusia berbasis optik dapat dilakukan menggunakan metode Giannakopoulos dengan terlebih dahulu melakukan proses inisialisasi melalui pelatihan warna fitur sekaligus identifikasi posisi fitur pada *frame* pertama selaku acuan dasar deteksi.

Estimasi pose rekonstruksi 3D dari titik fitur indek warna yang didapatkan dari deteksi warna di citra sekuensial 2D tangkapan 3 kamera, baik yang berdasarkan tata letak optimum teoritis maupun tata letak optimum empiris cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari koordinat titik 3D hasil rekonstruksi dan tampilan

visualisasi 3D yang sesuai dengan kondisi reprojeksinya walaupun nilai kesalahan proyeksi titik fitur 3D masih cukup besar, yakni 4,54 cm.

Jika ditinjau dari biaya penerapannya, sistem ini masih tergolong murah jika dibandingkan harga sistem penangkapan gerak manusia yang sudah beredar di industri animasi. Hasil rekonstruksi 3D yang dihasilkannya pun sudah mendekati bentuk visual standar industri animasi, yakni mendekati bentuk struktur bvh.

Proses transformasi informasi titik 3D menjadi struktur bvh secara *online* perlu dilakukan sebagai kelanjutan penelitian ini. Pengujian-pengujian alternatif lain yang mendukung di setiap proses tahapan sistem ini juga diperlukan demi kesempurnaan sistem yang dibangun.

Referensi

- Aggarwal, J., & Cai., Q. (1999). Human Motion Analysis: A review. *Computer Vision and Image Understanding* , Vol. 73, no.3, pp. 428-440.
- Bouguet, J.-Y. (1999). *Visual methods for three dimensional modeling*. California: Ph.D Thesis at California Institute of Technology.
- Giannakopoulos, T. (2008). *Matlab Color Detection Software*. Retrieved Mei 12, 2009, from www.di.uoa.gr/~tyiannak
- Gunanto, S. G. (2009). Segmentasi Warna Bagian Tubuh Manusia pada Citra 2D. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasi 2009* (pp. F.133-F.137). Malang: Polinema.
- Haritaoglu, I., Harwood, D., & Davis, L. (1998). Ghost: a Human Body Part Labeling System Using Silhouettes. *International Conference on Pattern Recognition*. Queensland.
- Moeslund, T. B. (1999). The Analysis-by-Synthesis Approach in Human Motion Capture: A Review. *The 8th Danish conference on pattern recognition and image analysis*. Denmark: Copenhagen University.

- Moeslund, T. B., Hilton, A., & Kruger, V. (2006). A Survey of Advances in Vision-based Human Motion Capture and Analysis. *Computer Vision and Image Understanding* , Vol.104, pp. 90-126.
- Perales, F. (2002). Human Motion Analysis & Synthesis using Computer Vision and Graphics Techniques:State of Art and Applications. *Workshop on Centre of Computer Graphics and Data Visualisation*. Czech Republic: University of West Bohemia.
- Poppe, R. (2007). Vision-based human motion analysis: An overview. *Computer Vision and Image Understanding* , Vol. 108, Issues 1-2, pp. 4-18.
- Rujikietgumjorn, S. (2008). *Segmentation methods for multiple body parts*. Knoxville: Project in lieu of Thesis University of Tennessee.
- Shipley, T. F., & Brumberg, J. S. (2005). *Markerless Motion-capture for Point-light Displays*. Philadelphia: Biological Motion Project, Department of Psychology, Temple University.
- Starck, J., & Hilton, A. (2003). Model-Based Multiple View Reconstruction of People. *Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision - Volume 2*.
- Tsai, R. Y. (1987). A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. *IEEE Journal of Robotics and Automation RA-3(4)* , pp.323-344.
- Wachter, S., & Nagel, H. (1999). Tracking Persons in Monocular Image Sequences. *Computer Vision and Image Understanding* , Vol.74(3), pp. 174-192.
- Wren, C. R., Azarbayejani, A., Darrell, T., & P., P. A. (1997). Pfinder: Real-time Tracking of the Human Body. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* , Vol.19(7), pp. 780-785.

Zhou, H., & Hu, H. (2004). *A Survey-Human Movement Tracking and Stroke Rehabilitation*. United Kingdom: Technical Report: Department of Computer Sciences, University of Essex.