

## *Analysis of Inverse Kinematics Techniques for 3D Animation Human Characters Using Autodesk Maya*

### **Analisis Teknik *Inverse Kinematics* Karakter Manusia Animasi 3D Menggunakan Autodesk Maya**



Ahmad Zaid Rahman <sup>a</sup>  
Buyut Khoirul Umri <sup>b</sup>

---

#### **Article history:**

**Submitted:** 4 December 2023

**Revised:** 17 December 2023

**Accepted:** 1 January 2024

#### **Keywords:**

*Inverse Kinematics, Corner of Freedom of Joints, Natural, 3D, Animation*

---

#### **Abstract**

*The research with the title "Analysis of Inverse Kinematics Techniques for 3D Animation Human Characters Using Autodesk Maya" aims to find out how to produce 3D animated movements that are appropriate for natural movements in humans by applying inverse kinematics methods. The motion animation reference used is in the form of Taekwondo selfdefense movement called Twieo Ap Chagi by testing the 3D animation character using inverse kinematics method, and 2 tests are carried out by applying the angle of joint freedom to the joint motion and without applying the angle of joint freedom. Based on the results of the implementation in the making of 3D human motion animation using inverse kinematics methods, setting the degree of freedom degrees only applies to the joints of motion, whereas for dead joints and stiff joints does not require setting the angle of degrees of freedom to look natural. There are several parameters that affect to make 3D animation of human characters having natural motion using the inverse kinematics method is the application of the angle of freedom in the joints which is only done on the legs, because it has a higher percentage of accuracy than those who do not apply the angle of freedom in the joints of 2 %. For the hands it is not recommended to use the inverse kinematics method because it has an average percentage of natural accuracy below 50%, and pay attention to the principles of animation which include timing and spacing, pose to pose, anticipation, follow through and overlapping actions, slow in and slow out, arcs, and secondary action. And motion references in the form of video to get natural results that are supported by rigging characters, both using inverse kinematics and forward kinematics.*

---

#### **Abstrak**

Penelitian Penelitian dengan judul "Analisis Teknik *Inverse Kinematics* Karakter Manusia Animasi 3D Menggunakan Autodesk Maya" bertujuan untuk mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 3D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode *inverse kinematics*.

Referensi gerakan animasi yang digunakan adalah berupa gerakan beladiri Taekwondo yaitu *Twieo Ap Chagi* dengan menguji karakter animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*, serta dilakukan 2 pengujian yaitu menerapkan sudut kebebasan sendi pada sendi gerak dan tanpa menerapkan sudut kebebasan sendi. Berdasarkan hasil implementasi pada pembuatan gerak animasi 3D manusia menggunakan metode *inverse kinematics*, pengaturan sudut derajat kebebasan hanya diterapkan pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak membutuhkan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *inverse kinematics* ialah penerapan sudut kebebasan pada sendi yang hanya dilakukan pada bagian kaki, dikarenakan memiliki persentase akurasi lebih tinggi dari pada yang tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi yaitu sebesar 2%. Untuk bagian tangan tidak direkomendasikan menggunakan metode *inverse kinematics* dikarenakan memiliki persentase akurasi tingkat natural rata-rata dibawah 50%, serta memperhatikan prinsip-prinsip animasi tersebut yang diantaranya ialah *timing and spacing*, *pose to pose*, *anticipation*, *follow through and overlapping action*, *slow in and slow out*, *arcs*, dan *secondary action*. Serta gerak referensi berupa video untuk mendapatkan hasil yang natural yang ditunjang dengan rigging karakter, baik menggunakan *inverse kinematics* maupun *forward kinematics*.

SMART : Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer © 2023.

---

<sup>a,b</sup> Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta

---

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

---

*Inverse Kinematics Techniques for 3D Animation Human Characters ...*  
(Ahmad Zaid Rahman)

**Corresponding author:**

Ahmad Zaid Rahman

Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta

Email address: ahmad.zaid@amikom.ac.id

---

**1. Pendahuluan**

Animasi dalam bentuk film selama perkembangannya, dapat terbagi menjadi beberapa jenis, namun jenis yang paling umum digunakan adalah animasi 2D dan animasi 3D (Mahinder, 2016). Pada animasi 2D, objek digambar dalam bentuk datar/flat karena hanya mempunyai 2 koordinat/dimensi yaitu horizontal axis (X) dan vertical axis (Y), sedangkan animasi 3D mempunyai 3 koordinat yaitu X, Y dan Z dimana hal ini membuat objek 3D memiliki volume/kedalaman/depth sehingga dapat dilihat dari segala arah.

Kelebihan dari animasi 3D dimana proses pembuatan animasi membutuhkan waktu yang lebih cepat karena karakter yang digunakan telah diberi rig (tulang) terlebih dahulu sebelum tahap penganimasian dimulai, sehingga pada tahap tersebut karakter dapat digerakkan sesuai keinginan dengan lebih mudah dan cepat. Berbeda dengan animasi 2D yang membutuhkan waktu lebih lama karena dibuat secara frame by frame dan gambar yang telah dibuat sebelumnya tidak dapat dipergunakan kembali di kemudian hari.

Akan tetapi proses penganimasian karakter 3D tidaklah selalu cepat, karena sering sekali terkendala ditahap penganimasian yang diakibatkan dari kerumitan atau ketidakberaturannya fungsi dari tiap rig pada objek karakter 3D, oleh karena itu dibutuhkan tahap pembuatan rig yang tepat untuk mendukung proses penganimasian yang lebih efisien dari segi proses dan waktunya.

Dari permasalahan tersebut, melalui penelitian ini penulis akan fokuskan kepada salah satu tahapan pembuatan animasi 3D yaitu rigging yang menggunakan teknik penganimasian rig/bone dalam animasi 3D telah dikenal sebagai Kinematics.

*Kinematics* (Kinematik) pada dasarnya merupakan ilmu yang mempelajari tentang pergerakan sebuah benda tanpa memperhitungkan gaya yang menyebabkan gerakan. Terdapat dua jenis kinematics yaitu *Forward kinematics* dan *Inverse kinematics*. *Forward kinematics* hanya dapat mengontrol posisi setiap ruas secara tidak langsung dengan cara menentukan sudut rotasi dari sendi di antara pangkal dan ujung efektor, sehingga kelemahan dari metode ini adalah animator harus mengatur sudut sendi terlebih dahulu untuk membentuk suatu pose gerakan. Sebaliknya, dengan *inverse kinematics* penempatan ujung efektor dapat dikendalikan secara langsung dengan memecah sudut sendi yang dapat menempatkannya pada lokasi yang diinginkan (Ge, 2000).

Metode *kinematics* merupakan metode yang sesuai untuk digunakan pada animasi yang mempunyai articulated body atau bagian yang saling tersambung sehingga membentuk suatu kerangka. Salah satu objek yang dapat menggambarkan bentuk tersebut yaitu manusia, yang mempunyai bagian-bagian tubuh yang saling terhubung satu sama lain dan dihubungkan dengan sendi-sendi, sehingga jika terjadi pergerakan dari sendi tersebut maka bagian lain yang terhubung juga akan mengalami perubahan posisi yang kemudian menghasilkan suatu model gerakan.

Dalam animasi, manusia merupakan salah satu karakter yang paling sulit untuk dianimasikan secara meyakinkan (Roberts, 2013) karena setiap bagian tubuhnya bergerak sesuai dengan anatomi terutama oleh sistem kerangka yang saling dihubungkan dengan sendi sehingga setiap pergerakan yang dianimasikan harus dilakukan secara akurat dan mendetail. Dalam *kinesiology/biomechanics*, yaitu ilmu yang mempelajari tentang gerak tubuh manusia, terdapat empat gerakangerakan persendian secara umum (Napitulu, 2007) yang sering dilakukan oleh manusia. Semakin kompleks gerakan yang dilakukan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam membuat animasi.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode yang menjadikan proses pergerakan natural pada karakter. Pada penelitian ini, penulis mencoba untuk memberikan solusi terhadap permasalahan yang telah dijabarkan di atas yaitu dengan membuat

pemodelan gerakan yang umum dilakukan oleh karakter manusia sebagai sampel ke dalam animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*.

Dalam penelitian ini, penulis merujuk beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang topik yang berkaitan dengan penelitian yang akan penulis lakukan. Penelitian tersebut diantaranya yaitu, penelitian dari Lalu Agam Pramadya Syalabi yang bertujuan untuk menerapkan pengembangan fitur Quick Rig pada Autodesk Maya, penelitian tersebut menerapkan metode invers kinematics dan forward kinematics pada objek animasi 3D yang diterapkan, serta menguji tingkat efisiensi waktu.

Kemudian penelitian dari Agung Dwi Saputro yang bertujuan untuk menerapkan metode *inverse kinematics* dalam objek animasi hewan ular 3D, menentukan sudut gerak pada animasi tersebut pada setiap ruas tulang ular (Saputro, 2018). Penelitian dari Niki Hardinata yang bertujuan untuk menerapkan metode *inverse kinematics* dalam animasi 2D dengan menggunakan hewan felidae sebagai objeknya (Hardinata, 2017). Penelitian dari Muga Linggar Famukhit yang melakukan penelitian untuk menerapkan metode *inverse kinematics* pada hewan kepiting yang berupa simulasi 3D (Famukhit, 2016). Kemudian penelitian dari Guanze Liao, yang bertujuan untuk membuat animasi pendek dengan menggunakan metode *inverse kinematics* (Liao, 2017).

Dari penelitian-penelitian tersebut, metode *inverse kinematics* akan diterapkan pada animasi 3 Dimensi yang diharapkan dapat memberikan tingkat gerakan yang lebih natural terhadap proses penganimasian, dengan memperhatikan parameter pada gerak sendi maksimal manusia yang didapatkan dari studi literatur, kepustakaan dan observasi. Sehingga gerak animasi yang dihasilkan nantinya diharapkan bisa seperti gerak natural manusia pada umumnya, pengujian untuk gerak animasi sendiri berupa gerakan salah satu gerak beladiri yaitu *jump kicks*.

## 2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini termasuk ke dalam penelitian *Research and Development* yaitu suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggung jawabkan (Sujadi, 2003). Sedangkan sifat dari penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan tujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian dalam hal ini adalah manusia ataupun hasil penelitian yang didapat yang berupa animasi 3D. Pendekatan pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dimana hasil yang akan didapatkan berupa angka-angka yang didapat dari perhitungan sudut-sudut yang telah dilakukan untuk kemudian dijadikan kesimpulan dari penelitian.

### 1. Tahap pengumpulan data

Pada tahap pengumpulan data, dilakukan beberapa metode seperti studi literature, kepustakaan, dan observasi. Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan penelitian ini yang berupa data seperti struktur rangka anatomi tubuh manusia, pola gerak sendi serta parameter gerak maksimal manusia pada umumnya, dan data mengenai metode *Inverse Kinematics*. Hasil pada tahap ini yaitu tinjauan pustaka dan landasan teori yang merupakan dasar dari penelitian.

Pada tahap pengumpulan data penulis mengumpulkan berbagai data dari beberapa sumber yaitu sebagai berikut:

#### 1. Metode Studi Literatur

Metode ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang ada seperti internet untuk mendapatkan informasi berkaitan dengan film animasi. Jenis data yang dihasilkan berupa data perkembangan animasi di dunia dan Indonesia.

#### 2. Metode Kepustakaan

Merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan kajian teori melalui buku-buku yang relevan dan sumber lainnya dari internet. Jenis data yang didapatkan berupa teori-teori tentang animasi 3D, *inverse kinematics*, dan pergerakan manusia.

#### 3. Metode Observasi

Dalam penelitian ini, metode observasi dilakukan terhadap objek manusia untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan pergerakan dasar manusia. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengukur pergerakan dari tulang-tulang dan sudut sendi untuk dijadikan referensi dalam animasi gerak karakter manusia. Data berupa video referensi gerak “*jump kick*” pada beladiri Taekwondo.

## 2. Tahap Analisa dan Perancangan

Tahap analisa yaitu: menganalisa data yang telah didapat hasil dari tahap pengumpulan data yang kemudian melakukan perhitungan kerangka rigging dengan pemberian parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) di beberapa sendi/rigging karakter yang telah ada serta merancang *tools control* animasi. Setelah itu melakukan validasi, apakah desain yang dibuat sudah sesuai atau belum. Tahap validasi dilakukan dengan ahli pada bidangnya tersebut. Hal ini untuk menghindari kesalahan ketika tahap implementasi nantinya.

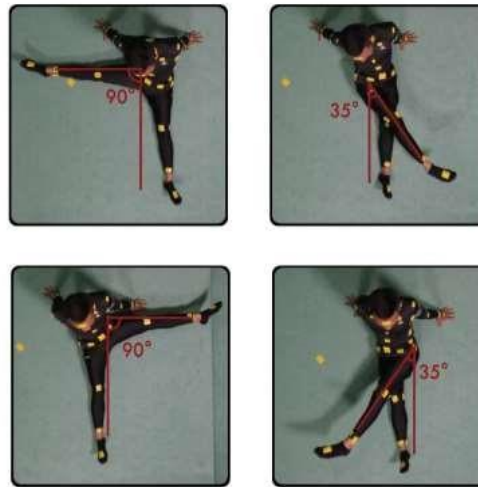
## 3. Tahap Implementasi dan pengujian

Pada tahap ini adalah melakukan eksperimen dengan menerapkan metode *Inverse Kinematics*. Dalam hal penerapannya dilakukan perbagian terlebih dahulu, yaitu melakukan sebuah *setting* untuk menentukan sumbu gerak maksimal di beberapa sendi/rigging pada karakter yang telah ada serta penambahan *tools control* animasi. Ketika *setting* sumbu gerak maksimal telah dilakukan dan penambahan *tools control* animasi maka langkah selanjutnya melakukan validasi terhadap ahli dalam rigging, hal ini dapat menghindari kesalahan ketika melakukan pembuatan *system control* yang bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan animasi pada karakter 3D.

Tahap pengujian bertujuan untuk menguji penenerapan dari metode *Inverse Kinematics*. Pada penelitian ini, Pengujian akan dilakukan oleh animator profesional dengan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang sudah diberi parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) dan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang tidak menggunakan tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*). Selanjutnya ditahap pengujian setelah dilakukan penganimasian pada karakter 3 Dimensi, yaitu membandingkan sudut yang terbentuk dari setiap sendi pada bagian tubuh animasi 3 Dimensi yang telah dibuat menggunakan metode *inverse kinematic* dengan video referensi yang berupa video *live shoot*. Pengujian ini penulis lakukan bertujuan untuk mengetahui berapa natural kemiripan dari kedua video tersebut. *Software* yang digunakan untuk mengukur sudut gerak sendi yaitu *Tracker*, yang dapat merekam sudut dari masing-masing bagian tubuh yang terbentuk di setiap frame. Bagian tubuh yang diuji merupakan bagian tubuh yang memiliki sendi gerak yaitu sendi antara kepala dan leher, siku tangan, dan kaki. Tahap pertama yang dilakukan dalam pengujian ini yaitu dengan mengeksport terlebih dahulu masing-masing gerakan animasi 3 Dimensi yang telah dibuat ke dalam format video agar dapat diimpor ke dalam *software Tracker*. Pada penelitian ini, video yang dihasilkan mempunyai format .mp4. Pengukuran yang dihasilkan dari masing-masing video dilakukan berdasarkan sudut yang terbentuk dari setiap pose di setiap frame menggunakan salah satu fitur *measure tool* pada *software Tracker*, yaitu fitur *Protractor*. Dari pengukuran tersebut didapatkan data yang dapat dilihat dalam dua macam bentuk yaitu berupa tabel dan grafik.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini merupakan tahap evaluasi hasil dari eksperimen yang dilakukan sebelumnya dan evaluasi dari data yang didapat pada hasil penelitian dalam bentuk data angka-angka parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) dan akurasi gerak animasi 3 Dimensi jika diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) dan tidak diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*), kemudian memberikan kesimpulan yang bisa diambil dan saran apabila terdapat berbagai kekurangan dalam penelitian yang bertujuan kedepannya bisa dikembangkan kembali

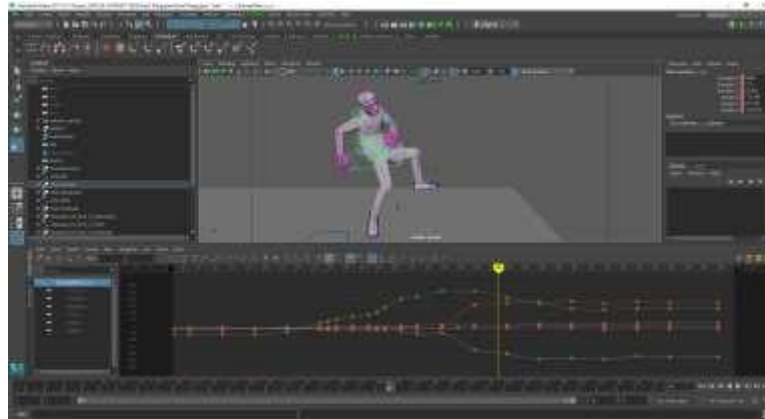


Gambar 1. Pengukuran sudut derajat sendi manusia

Berdasarkan hasil pengukuran sudut derajat sendi manusia yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut:

1. Sendi peluru pada tulang bahu kanan dapat berputar ke segala, dari analisis data set yang penulis observasi didapat derajat dengan batas sudut kebebasan sebesar  $-35^{\circ}$  hingga  $200^{\circ}$  untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar  $-15^{\circ}$  hingga  $135^{\circ}$ .
2. Sendi peluru pada tulang bahu kiri sama dengan sendi peluru pada tulang kanan yaitu dapat berputar ke segala arah, dari analisis data set yang penulis observasi didapat derajat dengan batas sudut kebebasan dengan tulang bahu kanan, yaitu sebesar  $-35^{\circ}$  hingga  $200^{\circ}$  untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar  $-15^{\circ}$  hingga  $135^{\circ}$ .
3. Sendi engsel pada siku tangan kanan hanya dapat digerakkan ke arah depan/luar (extension) dan menekuk ke dalam/belakang (flexion) dengan sudut minimal sebesar  $0^{\circ}$  saat flexion dan maksimal  $135^{\circ}$  saat extension.
4. Sendi engsel pada siku tangan kiri sama seperti dengan siku tangan kanan yang hanya dapat digerakkan ke arah depan/luar (extension) dan menekuk ke dalam/belakang (flexion) dengan sudut minimal yang sama, yaitu sebesar  $0^{\circ}$  saat flexion dan maksimal  $135^{\circ}$  saat extension.
5. Sendi peluru pada pangkal paha kanan sama seperti sendi peluru pada tulang bahu yang dapat berputar dapat ke segala arah, dengan batas sudut kebebasan yang memiliki nilai derajat sebesar  $0^{\circ}$  hingga  $145^{\circ}$  untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar  $-35^{\circ}$  hingga  $90^{\circ}$ .
6. Sendi peluru pada pangkal paha kiri sama seperti sendi peluru pada pangkal paha kanan yang dapat berputar ke segala arah, dengan batas sudut kebebasan yang memiliki nilai derajat sama dengan sendi peluru pada pangkal paha kanan, yaitu sebesar  $0^{\circ}$  hingga  $145^{\circ}$  untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar  $-35^{\circ}$  hingga  $90^{\circ}$ .
7. Sendi engsel pada lutut kanan dapat bergerak ke arah depan/luar (extension) dengan sudut maksimal sebesar  $145^{\circ}$  dan ke arah dalam/belakang (flexion) dengan sudut minimal sebesar  $0^{\circ}$  yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar  $145^{\circ}$ .
8. Sendi engsel pada lutut kiri sama seperti sendi engsel pada lutut kanan dapat bergerak ke arah depan/luar (extension) dengan sudut maksimal yang sama dengan sendi engsel pada lutut kanan, yaitu sebesar  $145^{\circ}$  dan ke arah dalam/belakang (flexion) dengan sudut minimal sebesar  $0^{\circ}$  yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar  $145^{\circ}$ .

Pada tahap analisis derajat sendi ini, penulis dibantu oleh seorang ahli *orthopedi* dan dosen Universitas Respati Yogyakarta yang bernama Muhammad Untung, S.Fis, M.Fis untuk memberikan justifikasi kebenaran dalam pengumpulan dataset derajat sendi yang akan digunakan dalam pengujian gerak animasi 3D pada penelitian ini.

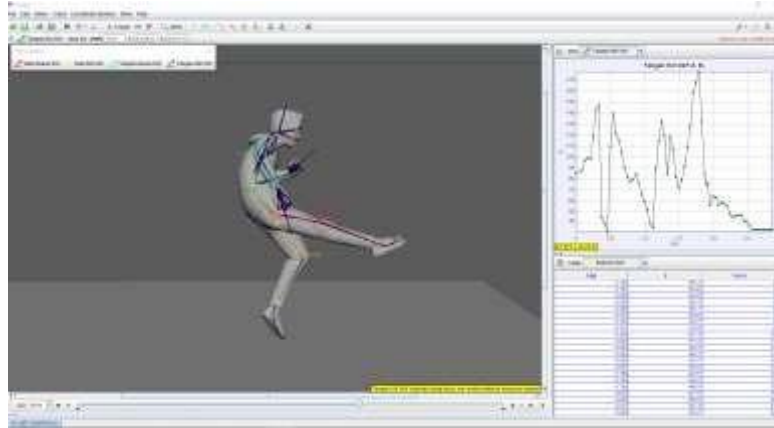


Gambar 2. Pengujian gerak animasi menggunakan autodeks maya

Kemudian video animasi juga akan diuji dengan membuat path masing-masing bagian tubuh yang bergerak menggunakan *software* Tracker, dan hasil path video animasi 3D akan dibandingkan dengan hasil path dari video referensi yang merupakan *live shoot*. Penggunaan *software* ini akan membantu dalam merekam gerakan dan akan menentukan titik koordinat setiap gerakan sehingga tingkat kemiripan kedua gerakan dapat diketahui berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan.



Gambar 3. Proses pengujian gerakan video referensi



Gambar 4. Proses pengujian gerakan animasi 3D

Setelah melakukan pengujian gerak animasi oleh animator profesional, diketahui bahwa pada saat manusia melakukan gerakan beladiri, tidak semua sendi pada manusia ikut terlibat dalam terjadinya gerakan tersebut. Sendi mati tidak menghasilkan perubahan sudut meskipun tubuh digerakkan, sedangkan sendi gerak mengalami perubahan sudut yang sesuai dengan pergerakan yang dilakukan oleh objek.

Berdasarkan hasil pengukuran/pengujian sudut dari masing-masing bagian tubuh, sudut yang dihasilkan setiap sendi pada animasi 3 dimensi yang dibuat belum bisa sesuai dengan gerakan manusia secara nyata. Gerakan yang dihasilkan pada animasi 3D menghasilkan sudut gerakan yang berbeda dari sudut kebebasan sendi yang dimiliki oleh manusia, hal ini dikarenakan pada tahap pengujian gerak animasi menggunakan metode *pose to pose*, yang membuat jarak antar keyframe berbedabeda di tiap *pose* gerakannya, sehingga mempengaruhi gerak karakter animasi 3d dengan gerak video referensinya.

Metode *inverse kinematics* merupakan metode yang bisa untuk diterapkan pada bagian kaki animasi gerakan manusia dengan akurasi sekitar 80%, dan akan lebih akurat jika menggunakan sudut kebebasan sendi (*Degree of Freedom*). Dengan metode ini, sudut pada bagian kaki yang akan digerakkan dalam animasi dapat dibatasi sehingga segala pergerakan yang dilakukan pada objek animasi tersebut akan mendekati sesuai dengan objek aslinya, akan tetapi sudut pada bagian tangan akan sangat kesulitan digerakkan dikarenakan gerak menjadi terbatas jika menggunakan metode *inverse kinematics* dengan akurasi sekitar 50% baik menggunakan sudut kebebasan sendi (*Degree of Freedom*) atau tidak.

Animator pada pengujian gerak animasi 3D ini juga memberikan komentar pada 2 pengujian yang telah dilakukan yaitu, pengujian pada gerakan animasi 3d yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*), begitu banyak masalah yang menyebabkan batas di setiap sumbu seperti memutar dan posisi, karena itulah sebabnya jika akan membuat beberapa gerakan atau membuat beberapa tindakan / tubuh mekanik tidak berfungsi dengan baik karena batasnya sumbu gerak karakter. Sedangkan pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*) yaitu, pada umumnya rig yang baik kecuali rig tangan harus menggunakan versi FK selama karakter tidak melakukan interaksi / sentuhan dengan hal lain tetapi, jika karakter melakukan beberapa interaksi seperti membawa gelas atau menyentuh beberapa barang, lebih baik menggunakan versi IK.

Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode *inverse kinematics*, animasi 3 dimensi yang dibuat dapat memiliki akurasi cukup tinggi jika diterapkan pada bagian kaki dibandingkan pada bagian tangan, jika dilakukan pengujian pada gerak beladiri taekwondo, yaitu *jump kick* secara video referensi live-shoot. Hal ini dapat

diartikan bahwa pembuatan animasi menggunakan metode *inverse kinematic* dapat menghasilkan animasi 3 dimensi yang terlihat natural pada bagian-bagian tertentu saja.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan pada penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut:

1. Pada pembuatan gerak animasi 3D manusia menggunakan metode *inverse kinematics*, pengaturan sudut derajat kebebasan hanya diterapkan pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak membutuhkan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *inverse kinematics* ialah penerapan sudut kebebasan pada sendi yang hanya dilakukan pada bagian kaki, dikarenakan memiliki persentase akurasi lebih tinggi dari pada yang tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi yaitu sebesar 2%. Untuk bagian tangan tidak direkomendasikan menggunakan metode *inverse kinematics* dikarenakan memiliki persentase akurasi tingkat natural rata-rata dibawah 50%, serta memperhatikan prinsip-prinsip animasi tersebut yang diantaranya ialah *timing and spacing, pose to pose, anticipation, follow through and overlapping action, slow in and slow out, arcs, dan secondary action*. Serta gerak referensi berupa video untuk mendapatkan hasil yang natural yang ditunjang dengan rigging karakter, baik menggunakan *inverse kinematics* maupun *forward kinematics*.
2. Penggunaan metode *inverse kinematics* dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik pada bagian kaki gerak beladiri taekwondo *jump kick "Twieo Ap Chagi"*. Sehingga dapat terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia. Gerakan animasi 3D manusia yang dibuat menggunakan metode *inverse kinematics* tidak direkomendasikan untuk diterapkan pada bagian tangan pada gerak beladiri taekwondo *jump kick "Twieo Ap Chagi"* dikarenakan gerak tangan yang menjadi terbatas dan kesulitan ketika melakukan pergerakan pada karakter animasi 3D yang akan digerakkan. Gerak animasi 3D karakter manusia, jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi dengan menggunakan metode *inverse kinematics* memiliki pengaruh yang tidak cukup signifikan pada akurasi gerak yang dihasilkan dengan menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi dan tidak menerapkannya, namun dalam prosesnya animator membutuhkan waktu lebih lama dalam melakukan pergerakan pada penganimasian karakter animasi 3D manusia tersebut, dikarenakan gerakan yang menjadi terbatas jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi.
3. Tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang dibandingkan dengan video live shoot yaitu sebesar 14,17% pada akurasi gerak tangan kanan, 58,31% pada akurasi gerak tangan kiri, 74,29% pada akurasi gerak kaki kanan dan 77,97% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 56,185%. Untuk pengujian pada gerakan animasi 3d yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi yaitu sebesar 11,51% pada akurasi gerak tangan kanan, 59,55% pada akurasi gerak tangan kiri, 75,38% pada akurasi gerak kaki kanan dan 72,99% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 58,8525 % untuk pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi. Sehingga tingkat natural gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi memiliki persentase rata-rata 2,7% lebih tinggi ketimbang gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang menerapkan sudut kebebasan pada sendinya.

##### Saran

Dalam penelitian ini terdapat beberapa kemungkinan yang dapat digali lebih lanjut oleh peneliti selanjutnya dan dapat menjadi pertimbangan yaitu sebagai berikut:

1. Model gerakan tidak hanya terbatas pada gerakan beladiri taekwondo *jump kick "Twieo Ap Chagi"*, tetapi juga berbagai gerakan karakter manusia lainnya.

2. Penerapan sudut derajat pada sendi bisa diberikan variasi/modifikasi nilai sudut yang berbeda-beda untuk mendapatkan tingkat natural yang maksimal
3. Pembuatan gerakan animasi dapat dikembangkan dengan menggunakan metode lainnya seperti forward kinematics atau kombinasi antara metode inverse kinematics dan forward kinematics.

#### **Daftar Pustaka**

- [1] Ge, Kang Teresa, 2000, Solving Inverse Kinematics Constraint Problems for Highly Articulated Models, Thesis, Master of Mathematics in Computer Science, University of Waterloo, Canada
- [2] Robert, Steve, 2013, Character Animation: 2D Skills for Better 3D, Taylor & Francis, London
- [3] Famukhit, Muga Linggar, 2016, Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.8 No.2
- [4] Hardinata, Niky, 2017, Gerakan Dasar Felidae Dalam Animasi 2 Dimensi, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.9 No.2
- [5] Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, 2018, Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics Jurnal Informasi Interaktif Vol.3 No.2
- [6] Syalabi, Lalu Agam Pramadaya, 2018, Analisis Fitur Pengembangan 'Quick Rig' Pada Autodesk Maya, Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta