

## Implementasi Metode *Inverse Kinematics* Pada Gerakan Animasi 3D Karakter Manusia

Ahmad Zaid Rahman<sup>1</sup>, Ema Utami<sup>2</sup>, Hanif Al Fatta<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup>Magister Teknik Informatika, Universitas AMIKOM Yogyakarta  
Jl. Ring Road Utara, Condong Catur, Sleman, Yogyakarta 55283 INDONESIA  
[ahmad.1070@students.amikom.ac.id](mailto:ahmad.1070@students.amikom.ac.id), [ema.u@amikom.ac.id](mailto:ema.u@amikom.ac.id), [hanif.a@amikom.ac.id](mailto:hanif.a@amikom.ac.id)

### INTISARI

Perkembangan industri animasi saat ini, khususnya animasi digital yang dibuat pada umumnya sudah menggunakan bantuan dari komputer telah menjadi salah satu industri yang paling menguntungkan dengan angka pertumbuhan yang tinggi di setiap tahunnya. Model gerakan yang digunakan dalam proses animasi dapat dibuat dengan berbagai macam metode, salah satu metodenya adalah *inverse kinematic*. Metode ini diharapkan dapat menghasilkan gerak animasi yang lebih akurat. Penelitian ini menguji metode *inverse kinematics* dan diimplementasikan kedalam animasi 3D karakter manusia. Pada proses 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 akurasi kemiripan dari kedua video tersebut. *Software* yang digunakan untuk mengukur sudut gerak sendi yaitu *Tracker*. Hasil dari penelitian ini ialah, untuk memberikan solusi agar pembuatan animasi 3D dapat lebih akurat dengan memperhatikan tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) sesuai anatomi pada manusia dan menggunakan metode *inverse kinematics* sehingga lebih akurat.

**Kata kunci**—Animasi 3D, Gerakan, Inverse Kinematics, Rangka manusia, Sendi .

### ABSTRACT

*The development of the animation industry at this time, especially digital animation created in general, using computer assistance has become one of the most profitable industries with high growth rates every year. The movement model used in the animation process can be made with a variety of methods, one of which is the inverse kinematic method. This method is expected to produce a more accurate motion animation. This research examines the inverse kinematics method and is implemented into 3D animation of human characters. In the testing process will be done by professional animators by animating 3 Dimension characters that have been given the parameters of the freedom of bone (Degrees of Freedom) and animated 3 Dimension characters that do not use the bone freedom benchmark (Degrees of Freedom). Next step is testing after an animation on the 3 Dimension character, which compares the angles formed from each joint in the 3 Dimensional animation body part that has been created using the inverse kinematic method with a reference video in the form of a live shoot video. This test is done by the author aims to find out how similar the accuracy of the two videos. Software used to measure the angle of motion of the joints is the Tracker. The results of this study are, to provide solutions for making 3D animations more accurate by paying attention to the measurement of bone freedom (Degrees of Freedom) according to anatomy in humans and using the inverse kinematics method so that it is more accurate.*

**Kata kunci**— 3D Animation, Movement , Inverse Kinematics, Human Skeleton, The Joints .

## I. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Saat ini, animasi khususnya animasi digital yang dibuat pada umumnya sudah menggunakan bantuan dari komputer telah menjadi salah satu industri yang paling menguntungkan dengan angka pertumbuhan yang tinggi di setiap tahunnya. Hal ini dapat dilihat dari keberadaan animasi yang dapat ditemukan dengan mudah dalam kehidupan sehari-hari (Ferguson, 2010) [1], mulai dari serial televisi (The Simpsons, Family Guy, South Park), iklan, video musik, permainan video/komputer (Super Mario Bros, Battlefield, Final Fantasy), dan film animasi (berdurasi pendek ataupun layar lebar seperti Moana, Toy Story, Frozen).

*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). [2]

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) [3] 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 kinesiologi/biomechanics, yaitu ilmu yang mempelajari tentang gerak tubuh manusia, terdapat empat gerakan-gerakan persendian secara umum 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 akurat 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.

Metode inverse kinematics akan diterapkan pada animasi 3 Dimensi yang diharapkan dapat memberikan tingkat akurasi yang lebih akurat 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 akurat manusia pada umumnya, pengujian untuk gerak animasi sendiri berupa gerakan salah satu gerak beladiri yaitu jump kicks.

### 2. Kajian Pustaka

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 Pangesti (2019) mendapatkan kesimpulan bahwa model gerakan animasi menggunakan *inverse kinematics* dapat diterapkan pada pembuatan animasi 2D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik sehingga terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia dengan tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 2D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang dibandingkan dengan video *live shoot* yaitu sebesar 93,90 % untuk gerakan berjalan dan 95 % untuk gerakan berlari. (Pangesti, 2015) [4]. Penelitian tersebut mendorong penulis untuk membuat animasi 3D dengan menggunakan metode *inverse kinematics* yang ditambahkan *tools control* animasi gerakan yang telah dibuat sebelumnya agar dapat digunakan kembali sehingga dapat memudahkan pembuatan animasi.

Penelitian Syalabi (2018) yang membahas bagaimana pemanfaatan pengembangan fitur QRT terhadap karakter 3D untuk meningkatkan

performa dalam pembuatan film animasi (Syalabi, 2018) [5]. Penelitian tersebut mendorong penulis untuk bisa menentukan sudut pergerakan yang tepat pada objek karakter animasi 3D tersebut sehingga dapat menghasilkan animasi yang akurat sesuai kebutuhannya.

Penelitian Saputro (2018) yang membahas bagaimana penerapan metode *inverse kinematics* pada simulasi gerak hewan ular yang kemudian menghitung besar derajat pada pergerakan setiap ruas tulang hewan ular (Saputro, 2018) [6]. Penelitian tersebut mendorong penulis untuk bisa menentukan sudut pergerakan yang tepat pada objek karakter manusia 3D sehingga dapat memudahkan dalam proses penganimasian.

Penelitian Hardinata (2017) membahas tentang pembuatan library animasi 2D yang terdiri dari pergerakan hewan berjenis felidae yaitu cheetah, kucing, dan singa menggunakan metode *inverse kinematics* yang kemudian disimpan dalam sebuah library agar dapat digunakan kembali secara otomatis (Hardinata, 2017) [7]. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa metode *inverse kinematics* dapat diterapkan pada tubuh yang mempunyai kerangka dengan sendi-sendi yang saling terhubung sehingga menghasilkan artikulasi dan sudut tertentu di setiap pergerakan.

Penelitian Famukhit (2016) membahas tentang pembuatan simulasi gerak kepiting menggunakan metode inverse kinematik. Pada penelitian tersebut, peneliti membuat animasi 3D dari hewan kepiting berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap hewan tersebut (Famukhit, 2016) [8]. Pada penelitian ini, penulis menerapkan metode inverse kinematics pada animasi 3D sehingga tahap yang dilakukan hampir sama dengan penelitian tersebut.

Penelitian Duits et al (2015) menjelaskan tentang teknik untuk menyempurnakan metode inverse kinematics untuk jari manusia. Peneliti membuat sebuah solusi dengan algoritma closed-form yang dapat memberikan posisi yang akurat ketika model gerakan jari manusia digerakkan. (Duits, 2015) [9]. Pada peneltentuitian tersebut metode inverse kinematics diterapkan pada jari manusia yang juga mempunyai sendi-sendi yang terhubung dan membentuk sudut tertentu ketika digerakkan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam memecahkan masalah penelitian ini, 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.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Gambaran Umum Obyek Penelitian

Pada penelitian ini, penulis menggunakan obyek penelitian berupa gerakan bela diri pada manusia untuk diterapkan dalam animasi 3 dimensi menggunakan metode *inverse kinematics*. Sebagai sampel objek penelitian, karakter manusia yang digunakan yaitu pria dewasa yang mempunyai proporsi tubuh manusia pada umumnya dan mempunyai rangka tulang yang normal. Pergerakan karakter yang dianalisis meliputi gerakan beladiri "Jump Kicks".

Gerakan "Jump Kicks". merupakan gerakan bela diri yang sering digunakan dalam beberapa film animasi dan dalam pergerakannya melibatkan seluruh sendi gerak sehingga merupakan gerakan yang sesuai untuk dijadikan sampel dalam penelitian ini. Untuk mendapatkan hasil gerakan animasi yang terlihat akurat seperti obyek asli, maka pengukuran derajat kebebasan sendi dilakukan terlebih dahulu. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui ke arah mana sendi dapat berputar, dan berapa besar sudut yang dihasilkan sehingga pergerakan manusia dapat

diterapkan dalam animasi 3D sesuai dengan aslinya.

## 2. Analisis dan Perancangan

Tahap analisis merupakan proses untuk mendapatkan data-data mengenai obyek penelitian yang meliputi gerakan beladiri “*Jump Kicks*” dan derajat sendi ketika melakukan pergerakan.

### A. Analisis Gerakan

Untuk mengetahui bagaimana pergerakan anggota tubuh saat melakukan gerak beladiri “*Jump Kicks*”, maka dilakukan analisis terhadap gerakan melalui observasi secara langsung yang direkam kedalam bentuk video. Beberapa video yang digunakan untuk pengamatan juga diperoleh dari beberapa sumber di internet, salah satunya yaitu channel Samery Moras Taekwondo pada situs youtube. Video referensi tersebut kemudian diputar melalui aplikasi pemutar video, yang pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi Media Player Classic seperti pada gambar 1.



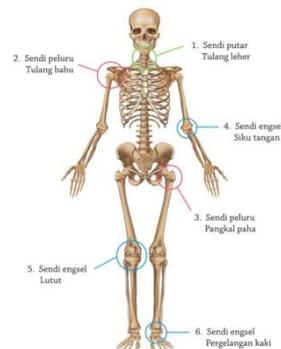
Gambar 1. Video referensi gerakan beladiri “*Jump Kicks*”

### B. Analisis Derajat Sendi

Setelah mendapatkan pola gerakan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis derajat pada sendi-sendi manusia. Analisis derajat sendi ini bertujuan untuk mengetahui derajat kebebasan tulang (Degree of Freedom) manusia ketika melakukan pergerakan. Dari analisis ini akan diketahui ke arah mana, dan berapa besar sudut masing-masing sendi dapat bergerak.

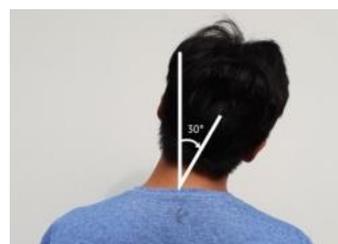
Sebelum mengukur sudut derajat sendi, langkah yang dilakukan yaitu dengan menghitung jumlah ruas sendi berdasarkan anatomi manusia. Pada penelitian ini sendi-sendi yang akan diukur terdiri dari beberapa sendi yang termasuk dalam sendi diartrosis / synovial, diantaranya adalah sendi putar pada tulang leher, sendi peluru yaitu sendi antara bahu dan lengan serta sendi antara tulang paha dan tulang gelang panggul, dan sendi engsel

pada siku tangan, lutut dan pergelangan kaki yang dapat ditunjukkan pada gambar 2.

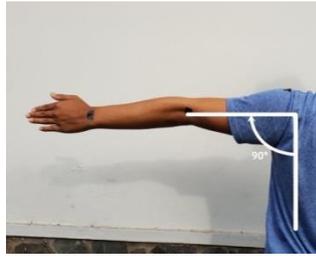


Gambar 2. Sendi manusia yang diukur

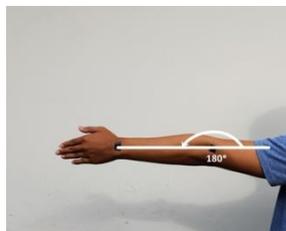
Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan dengan mengambil foto setiap sendi dari sampel penelitian. Dari foto tersebut, sudut derajat kebebasan sendi diukur menggunakan software *ImageJ* sehingga sudut minimal dan maksimal dari masing-masing sendi dapat diketahui dan kemudian dapat diterapkan sebagai pengaturan sendi pada animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*. Hasil pengukuran derajat sendi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Visual derajat sendi putar tulang leher



Gambar 4. Visual derajat sendi putar tulang bahu



Gambar 5. Visual derajat sendi engsel siku tangan



Gambar 6. Visual derajat sendi putar pangkal paha



Gambar 7. Visual derajat sendi engsel lutut dan telapak kaki

No	Sendi yang diukur	Nama Bagian Tubuh	Arah Putar Tulang	Sudut Derajat Min	Sudut Derajat Maks
1	Sendi Putar	Tulang leher	Ke kiri dan kanan	60°	120°
			Ke depan dan belakang	40°	105°
			Menoleh ke kanan dan kiri	0°	180°
2	Sendi	Tulang	Ke depan	0°	360°

	peluru	bahu	dan belakang		
			Ke kanan dan kiri	0°	360°
3	Sendi engsel	Siku tangan	Ke depan	35°	180°
			Ke belakang	0°	145°
4	Sendi peluru	Pangkal paha	Ke depan dan belakang	0°	70°
			Ke kanan dan kiri	0	100°
5	Sendi engsel	Lutut	Ke depan	60°	180°
			Ke belakang	0	120°
6	Sendi engsel	Pergelangan kaki	Ke depan dan belakang	95°	105°

Tabel 1. Hasil pengukuran derajat kebebasan sendi

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

- 1) Sendi putar pada tulang leher dapat berputar ke segala arah yaitu depan, belakang, samping kiri dan kanan, dengan batas sudut kebebasan sebesar 60°-120° untuk ke arah samping, 40°-105° ke arah depan dan belakang, dan untuk menoleh kanan kiri, dapat berputar dengan sudut derajat maks sebesar 180°.
- 2) Sendi peluru pada tulang bahu dapat berputar ke segala arah tanpa batas sudut derajat minimal atau 360°.
- 3) Sendi engsel pada siku tangan hanya dapat digerakkan ke arah depan/luar (*extension*) dan menekuk ke dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 35° saat *flexion* dan maksimal 180° saat *extension*.
- 4) Sendi peluru pada pangkal paha sama seperti sendi putar pada tulang bahu yang dapat memutar ke segala arah, namun hanya mempunyai sudut kebebasan sebesar 70° pada sebagian besar manusia. Pada manusia yang mempunyai tulang yang sudah terlatih seperti penari balet atau atlet misalnya, sendi putar pada pangkal paha dapat berputar dengan kebebasan 360°.
- 5) Sendi engsel pada lutut dapat bergerak ke arah depan/luar (*extension*) dengan sudut maksimal sebesar 180° dan ke arah dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 60° yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar 120°.
- 6) Sendi engsel pada pergelangan kaki mempunyai fungsi yang sama dengan

sendi pada siku tangan dan lutut yang dapat bergerak ke arah depan/luar (*extension*) dengan sudut maksimal sebesar 105° dan ke arah dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal yaitu 95°.

### C. Tahap Implementasi

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. Ketika setting sumbu gerak maksimal telah dilakukan maka langkah selanjutnya melakukan validasi terhadap ahli dalam rigging, hal ini dapat menghindari kesalahan ketika melakukan penganimasian pada karakter 3D.

### D. Tahap Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk menguji penerapan 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 akurasi 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 mengeksplor 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.

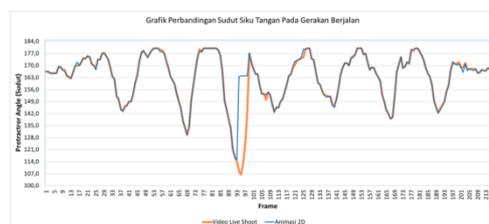


Gambar 8. Contoh perhitungan gerakan pada video referensi menggunakan software Tracker

Kemudian data perhitungan dari video referensi atau live shoot dan data perhitungan dari video animasi berupa table perhitungan di tiap framenya.

t (s)	frame	$\theta$
0.000	0	179.0°
0.083	1	179.0°
0.125	2	179.0°
0.167	3	179.0°
0.208	4	179.0°
0.250	5	179.0°
0.292	6	179.0°
0.333	7	179.0°
0.375	8	179.0°
0.417	9	179.0°
0.458	10	170.0°
0.500	11	167.0°
0.542	12	155.0°
0.583	13	149.0°
0.625	14	138.0°
0.667	15	132.5°
0.708	16	131.0°
0.750	17	131.0°
0.792	18	139.5°
0.833	19	145.5°
0.875	20	149.0°
0.917	21	156.0°
0.958	22	168.5°
1.000	23	171.0°
1.042	24	172.5°
1.083	25	173.0°
1.125	26	159.0°

Gambar 9. Contoh tampilan tabel hasil pengukuran sudut



Gambar 10. Contoh Grafik perbandingan sudut pada video referensi live shoot dan video animasi 3D

#### IV. KESIMPULAN

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

1. Penggunaan metode *inverse kinematics* dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik sehingga dapat terlihat akurat sesuai dengan
2. Pada pembuatan 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 lebih akurat.
3. Tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang dibandingkan dengan video *live shoot* yaitu sangat baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada yang terhormat Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom dan Pak Hanif Al Fatta, M.Kom atas bimbingan dan arahannya selama ini, terima kasih juga penulis ucapkan kepada pihak yang terkait dan rekan yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] Ferguson, "Ferguson's Careers in Focus: Animation", Infobase Publishing, New York, 2010.
- [2] Ge, Kang Teresa, "Solving Inverse Kinematics Constraint Problems for Highly Articulated Models", Thesis, Master of Mathematics in Computer Science, University of Waterloo, Canada, 2000.
- [3] Robert, Steve, "Character Animation: 2D Skills for Better 3D", Taylor & Francis, London, 2013.
- [4] Pangesti, Annisa Rahayu, "Analisis Penerapan Metode Inverse Kinematics Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 2 Dimensi", Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta, 2019.
- [5] Syalabi, Lalu Agam Pramadaya, "Analisis Fitur Pengembangan 'Quick Rig' Pada Autodesk Maya", Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta, 2018.
- [6] Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, "Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode

- Inverse Kinematics”, *Jurnal Informasi Interaktif* Vol.3 No.2, 2018.
- [7] Hardinata, Niky, “Gerakan Dasar Felidae Dalam Animasi 2 Dimensi”, *Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed)* Vol.9 No.2, 2017.
- [8] Famukhit, Muga Linggar, “Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics”, *Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed)* Vol.8 No.2, 2016
- [9] Roel Duits, Arjan Egges dan A. Frank. van der Stappen, “A Closed-Form Solution for Human Finger Positioning”, 2015.