



Metode *Inverse Kinematics* Dan *Frame-By-Frame* Pada Simulasi Jalan Laba-Laba

Laras Niti Mulyani¹, Suhendro Yusuf², Sriyanto³
^{1,2,3}, Institut Informatika Dan Bisnis Darmajaya, Lampung
email : larazniti@gmail.com

Received: 9 Mei 2023; Received in revised form : 12 Juni 2023; Accepted : 20 Juni 2023

Abstract (*bold, italic,Calibri, 10*)

Animation technique can be applied as a whole to the film or a combination of animation with the real world. Animated animal movements can look more realistic if they are based on real animal movements. The Nephila Iraunata spider has eight legs and a unique walking pattern. The method employed in the animation Spider joints was the inverse kinematics method. Animated Spider's walking pattern refers to the original walking pattern by using the frame-by-frame method. The design consisted of 3D character creation, Rigging, frame-by-frame animation, and motion implementation. Each base of the foot was measured using a protractor to determine the degrees of freedom. Character model created by using the Autodesk Maya application. Character rigging adjusted to the original Spider's body shape. The application of Inverse Kinematics used the Unity application with a focus on the base bone to the toe and adjusted according to the value of degrees of freedom. The curve of the original base bone angle with animation was compared using a tracker application to find out the level of similarity. Based on the results of the respondent's responses, the level of accuracy of the spider animation is similar to the original spider (81.7%).

Keywords: *spider, inverse kinematics, similarity, simulation*

Abstrak

Teknik animasi dapat diterapkan secara keseluruhan pada film atau gabungan animasi dengan dunia nyata. Gerakan animasi hewan dapat terlihat lebih realistis jika diambil berdasarkan gerakan hewan nyata. Laba-laba Nephila Iraunata memiliki delapan kaki dan pola berjalan yang unik. Metode yang diterapkan pada sendi Laba-laba animasi adalah metode inverse kinematics. Pola jalan Laba-laba animasi mengacu pada pola berjalan Laba-laba asli dengan menggunakan metode frame by frame. Perancangan terdiri dari pembuatan karakter 3D, Rigging, animasi frame by frame dan implementasi gerak. Setiap pangkal kaki diukur menggunakan busur derajat untuk mengetahui derajat kebebasan. Pembuatan model karakter menggunakan aplikasi Autodesk Maya. Pemberian rigging karakter menyesuaikan bentuk tubuh Laba-laba asli. Penerapan Inverse Kinematics menggunakan aplikasi Unity dengan fokus pada tulang pangkal sampai ujung kaki dan mengatur sesuai dengan nilai derajat kebebasan. Untuk mengetahui tingkat kemiripan dilakukan dengan membandingkan kurva dari sudut tulang pangkal asli dengan animasi menggunakan aplikasi tracker. Berdasarkan hasil penilaian responden, tingkat akurasi kemiripan animasi Laba-laba dengan Laba-laba asli bernilai baik dengan persentase 81,7%.

Kata kunci : laba-laba, inverse kinematics, kemiripan, simulasi

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi multimedia saat ini semakin pesat. Salah satunya dibidang animasi. Pembuatan animasi didukung oleh alat-alat yang canggih. Termasuk *plugin* yang dibuat untuk memudahkan para animator membuat produk animasi. Animasi adalah salah satu teknik yang saat ini sering digunakan di dunia film. Teknik ini dapat digunakan secara keseluruhan, bagian dari suatu film atau

gabungan animasi dengan dunia nyata. Algoritma dan teknik telah banyak mengalami perkembangan dalam hal mencapai tujuan untuk memudahkan kru film dalam proses produksi [1].

Dalam proses pembuatan animasi menggunakan hasil pengamatan dan perkiraan, belum ada yang menggunakan penelitian dan metode khusus. Padahal, jika pembuatan film animasi menggunakan metode khusus tersebut, secara singkat dapat memudahkan para animator untuk mengerjakannya. Waktu yang diperlukan dalam proses pengerjaan film menjadi efisien [2].

Pembuatan animasi yang tidak menggunakan metode tertentu, maka animator harus menyesuaikan tiap gerakan karakter animasi pada setiap *frame*. Akan membutuhkan waktu yang lama untuk satu kali gerakan saja. Salah satu metode yang sering digunakan dalam pergerakan animasi karakter yaitu metode Kinematika[3]. Kinematika merupakan sebuah metode yang memiliki konsep bagaimana sebuah karakter dapat bergerak, menggambarkan hubungan dari struktur tulang yang bergerak

Inverse Kinematics (IK) adalah metode untuk menghitung nilai-nilai rotasi bersama derajat kebebasan individu melalui rotasi dan posisi yang telah ditetapkan. Setiap pergerakan tulang memiliki derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang berfungsi untuk mendefinisikan banyaknya kemungkinan pergeseran dan rotasi suatu titik benda [4]. Metode ini sangat tepat digunakan untuk mengukur derajat kebebasan sendi pada hewan yang memiliki banyak sendi. Metode *Frame by Frame* merupakan salah satu teknik pembuatan animasi dengan cara menyusun gambar berbeda agar menjadi sebuah gerakan. Semakin banyak frame yang digunakan maka kualitas pergerakan animasi menjadi lebih baik dan halus [5]

Banyak film animasi yang menggunakan karakter hewan. Sebagai contoh hewan Laba-laba yang diberikan animasi berjalan, loncat, menyerang, hingga membuat sarangnya. Gerakan animasi hewan dapat terlihat lebih realistis jika diambil berdasarkan gerakan hewan dalam kehidupan nyata [6]. Gerakan yang terlihat realistis memberikan kepuasan tersendiri bagi penonton film animasi. Laba-laba memiliki unik pada jumlah kakinya yang banyak dan sendi poros yang baik [7].

Metode *Inverse Kinematics* sering diterapkan pada struktur tulang manusia dalam animasi [8]. Namun saat ini belum terdapat penelitian yang membahas penggunaan *Inverse Kinematics* pada sendi hewan Laba-laba dalam animasi tentang gerak dan pola berjalan hewan Laba-laba [9].

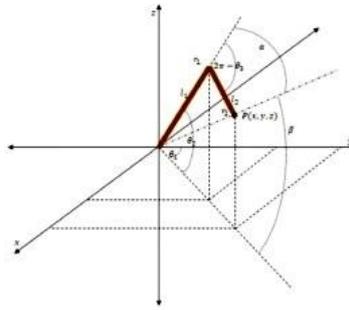
Inverse Kinematics dapat memberikan nilai sudut pada sendi pada bagian pangkal kaki Laba-laba sehingga pergerakan kaki terlihat natural atau seperti nyata [10]. Selain itu untuk mengetahui batasan sudut tiap sendi kaki Laba-laba, selanjutnya akan dilakukan pengukuran sudut derajat kebebasan tulang (*degree of freedom*) pada setiap sendi kaki hewan Laba-laba supaya pergerakan kaki Laba-laba animasi memiliki posisi yang tepat seperti gerakan Laba-laba nyata. Jenis Laba-laba yang digunakan adalah laba-laba *Nephila Inaurata* [11].

Tingkat kemiripan dan pola jalan laba-laba asli dengan pola jalan laba-laba simulasi belum diketahui sehingga dalam penelitian ini akan di cari polanya sehingga dapat diketahui tingkat kemiripan dan pola antara laba-laba asli dengan simulasi laba-laba yang dibuat dengan animasi 3D [12] menggunakan metode *frame by frame* dan metode *inverse kinematics* untuk pengaturan sudut kaki laba-laba [13].

2. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini akan menggabungkan metode inverse kinematics dengan metode frame by frame. *Inverse Kinematic* merupakan salah satu metode untuk menghitung nilai-nilai rotasi bersama derajat kebebasan individu melalui posisi dan rotasi yang telah ditetapkan [14]. Teknik ini dapat digunakan dalam model animasi kompleks dan rig gerak dengan sejumlah sendi [15]. Untuk mendapatkan nilai dari sudut sendi dalam metode inverse kinematics ini ada dua cara yaitu perhitungan dan pengukuran. Untuk perhitungan banyak rumus yang bisa digunakan disesuaikan dengan apa yang dibutuhkan [16].

Pertama yaitu perhitungan dilakukan secara manual untuk mengetahui pencarian derajat menggunakan rumus trigonometri [17]. Perhitungan digunakan ketika objek belum ada dan harus ditentukan besarnya sudut pada objek yang dibuat. Setelah hasil perhitungan sudut dihasilkan maka sudut akan dimasukkan pada program yang sedang dibuat [16].

Gambar 1. Sudut *Inverse Kinematics*

Dari Gambar 1 maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut ini:

$$x = l_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \cos \theta_3 - l_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 \quad (1)$$

$$y = l_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \cos \theta_3 - l_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 \quad (2)$$

$$z = l_1 \sin \theta_2 + l_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3 + l_2 \cos \theta_2 \sin \theta_3 \quad (3)$$

Setelah memperoleh persamaan diatas maka nilai θ_3 dengan cara menjumlahkan dua pangkat ketiganya dan mengingat bahwa $\sin^2 a + \cos^2 a = 1$, maka :

$$x^2 + y^2 + z^2 = 2l_1 l_2 \cos \theta_3 + l_1^2 + l_2^2 \quad (4)$$

$$\cos \theta_3 = \frac{x^2 + y^2 + z^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (5)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left[\frac{x^2 + y^2 + z^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right] \quad (6)$$

Mencari persamaan θ_2 dengan memperhatikan persamaan diatas, maka akan diperoleh persamaan seperti diberikut :

$$\tan \alpha = \frac{l_2 \sin \theta_3}{l_2 \cos \theta_3 + l_1} \quad (7)$$

$$\tan \beta = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (8)$$

$$\theta_2 = \beta - \alpha$$

Dengan hukum identitas trigonometri

$$\tan \theta_2 = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{z(l_2 \cos \theta_3 + l_1) - (\sqrt{x^2 + y^2})(l_2 \sin \theta_3)}{(\sqrt{x^2 + y^2})(l_2 \cos \theta_3 + l_1) + z l_2 \sin \theta_3} \right] \quad (10)$$

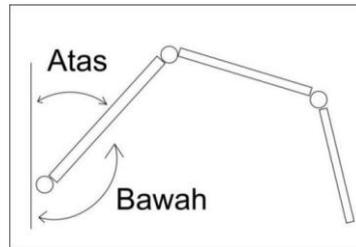
Dan yang terakhir nilai θ_1

$$\tan \theta_1 = \frac{x}{y} \quad (11)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{x}{y} \right] \quad (12)$$

Fungsi rumus tersebut adalah untuk pengaturan gerak, posisi akhir di sumbu x,y akan bergerak beberapa jarak yang ditentukan. Maka dihitung sudut $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ karena membentuk sebuah segitiga, sehingga untuk mencari besarnya sudut menggunakan rumus trigonometri [9].

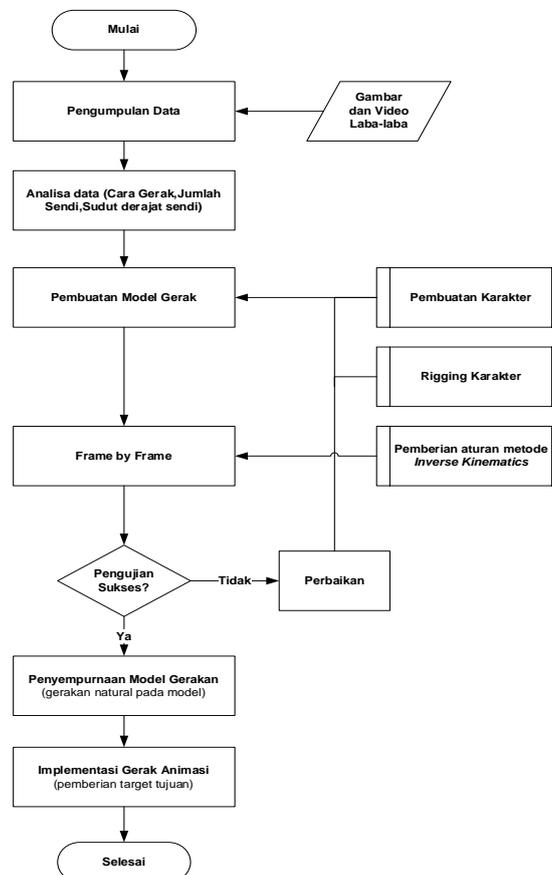
Kedua adalah pengukuran dilakukan untuk mendapatkan atau mengetahui besarnya sudut pada setiap pangkal kaki Laba-laba seperti pada Gambar 2. Alat yang digunakan untuk mengukur besar sudut menggunakan busur derajat [8]. Hasil dari pengukuran sudut tersebut yang nanti akan digunakan untuk memberikan batasan maksimal besaran sudut pada model Laba-laba. Sedangkan untuk pengukuran sudut pada animasi menggunakan aplikasi Tracker [18].



Gambar 2. Sudut Pengukuran *Inverse Kinematics*

Metode *Frame by Frame* merupakan salah satu teknik pembuatan animasi dengan cara menyusun gambar berbeda agar menjadi sebuah gerakan[19]. Langkah penerapan metode ini dengan cara bertahap[20]. Proses tersebut dimulai dengan mengatur objek satu persatu secara manual yang di setiap frame sehingga menghasilkan gambar yang berubah secara teratur. Jika semakin banyak frame yang digunakan maka kualitas pergerakan animasi menjadi lebih baik dan halus [5].

Setelah menentukan metode yang digunakan selanjutnya adalah membuat flowchat penelitian seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

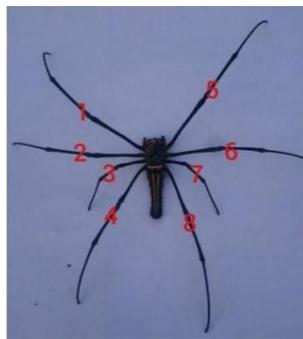
Hasil dari penelitian yang menggunakan metode inverse kinematics dan frame by frame adalah sebagai berikut Laba-laba *Nephila Iraunata* memiliki delapan kaki dan pola gerak unik dengan gerakan kaki secara bergantian. Setiap pangkal kaki Laba-laba diukur menggunakan busur derajat untuk mengetahui derajat kebebasan (*Degree Of Freedom*) yang dimiliki setiap pangkal kaki. Pembuatan model karakter Laba-laba menggunakan aplikasi Autodesk Maya dengan metode frame by frame. Pemberian *rigging* karakter yang menyesuaikan bentuk tubuh Laba-laba asli.

Arah gerak jalan Laba-laba yang diamati adalah lurus searah posisi tubuh di bidang datar. Pemberian arah atau titik tujuan jalan Laba-laba dan menjalankan simulasi menggunakan Unity3D. Pemberian titik tujuan dapat memudahkan animator untuk mengatur posisi dan skenario Laba-laba dalam animasi.

Dalam menjalankan simulasi, beberapa parameter yang disesuaikan pada Laba-laba animasi agar ada kemiripan dengan video asli. Seperti kecepatan jalan menuju titik tujuan dan kecepatan putaran langkah kaki (*walkcycle*).

Berdasarkan kurva pengukuran sudut pangkal kaki Laba-laba menggunakan aplikasi tracker dan hasil penilaian responden, tingkat akurasi kemiripan antara Laba-laba animasi yang menggunakan *inverse kinematics* dengan Laba-laba asli bernilai baik dengan nilai 75%-90%.

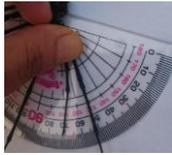
Penerapan *Inverse Kinematik* dilakukan pada model tulang kaki menyeleksi tulang bagian pangkal dan ujung. Setiap pangkal kaki akan di atur sudut yang telah ditentukan, sudut didapat dengan melakukan pengukuran menggunakan busur derajat. Kaki-kaki pada laba-laba akan diberi nomor terlebih dahulu untuk memudahkan perhitungan Gambar 4. menunjukkan penomoran pada kaki laba-laba.



Gambar 4. Penomoran Kaki Laba-Laba *Nephila Irahana*

Pengukuran pada hewan Laba-laba dilakukan dengan mengukur sudut derajat pangkal kaki dari sumbu koordinat datar 0° atau 180° , kemudian kaki Laba-laba di geser ke arah depan, ke arah belakang, ke arah atas dan ke arah bawah. Pengukuran derajat hewan Laba-laba tersebut di tujukan sebagai pengaturan sendi putar *Inverse Kinematik* pada *software Autodesk Maya*.

Tabel 1. Pengukuran Sudut Menggunakan Busur Derajat

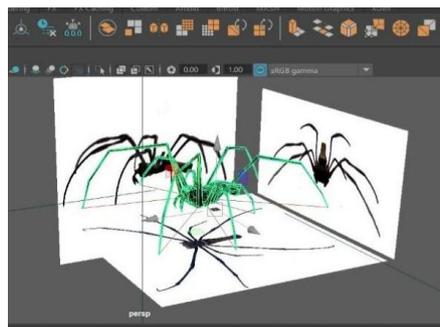
Kaki	Gambar	
	Depan	Belakang
Kaki Nomor 1/5	 90°	 30°
Kaki Nomor 2/6	 70°	 70°
Kaki Nomor 3/7	 50°	 70°



Setelah dilakukan pengukuran sudut, selanjutnya dibuat proses perancangan pembuatan model dengan beberapa tahap perancangan yaitu, perancangan desain model karakter laba-laba, perancangan desain struktur tulang laba-laba, dan rancangan implementasi derajat kebebasan tulang laba-laba.

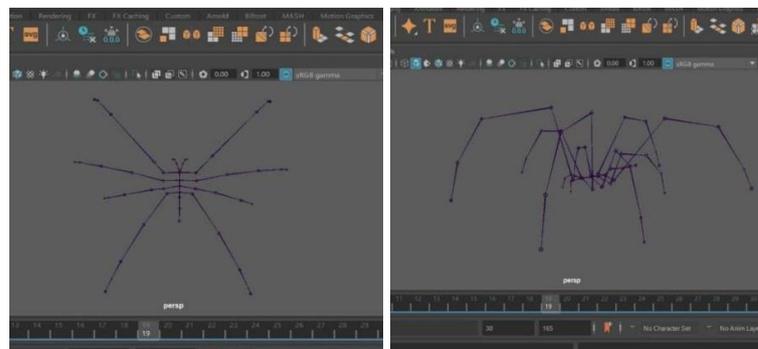
Rancangan penerapan sudut kebebasan tulang dilakukan pada tulang pangkal kaki bagian empat kaki jalan. Perancangan penerapan sudut derajat kebebasan tulang yaitu dengan pembuatan model gerak yang terdiri dari pembuatan karakter 3D, Rigging karakter 3D, pembuatan model gerak dengan metode frame by frame dan implementasi gerak.

Tahap pembuatan karakter obyek 3D dibuat dengan *software Autodesk Maya 2020*. Tujuan tahap ini yaitu membuat objek atau benda terlihat lebih hidup dan sesuai dengan obyek aslinya. Keseluruhan obyek dapat diperlihatkan secara 3D, sehingga hasil dalam tahap ini disebut sebagai pemodelan tiga dimensi (*3D modelling*). Penggunaan *Cube Modelling* dalam pembuatan model karakter hewan Laba-laba. Foto Laba-laba (*blueprint*) dipakai sebagai acuan pembuatan model tersebut. *Blueprint* hewan Laba-laba diambil dari tiga foto yang berbeda sudut pengambilan gambarnya. Foto pertama diambil dari bagian depan, foto kedua diambil dari bagian samping dan foto ketiga diambil dari bagian atas obyek.



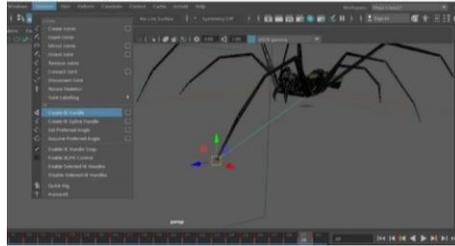
Gambar 5. *Cube Modeling*

Tahapan setelah modeling obyek 3D adalah proses *rigging* karakter. *Rigging* karakter merupakan proses pembuatan tulang pada obyek model 3D. Proses *rigging* karakter juga merupakan tahapan yang akan membuat sebuah model karakter terlihat hidup dengan pergerakan dilakukan oleh animator. Untuk dapat menggerakkan sebuah model karakter, animator juga membutuhkan *setup controller* tulang dan manipulator pada obyek karakter. Pada tahapan *rigging* karakter akan menggunakan *joint tools* yang ada pada *software autodesk maya*. Proses yang pertama dilakukan adalah membuat struktur hubungan antar tulang sesuai dengan desain struktur yang telah dibuat.



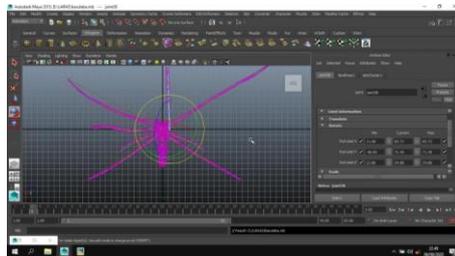
Gambar 6. Struktur Tulang Lengkap

Tahapan selanjutnya adalah pengaturan tulang (*setupbone*) menggunakan metode *Inverse Kinematics*. Penerapan *Inverse Kinematics* dilakukan pada model tulang kaki menyeleksi tulang bagian pangkal dan ujung.



Gambar 7. Penerapan Inverse Kinematics Pada Kaki Model Laba-Laba

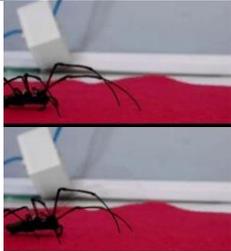
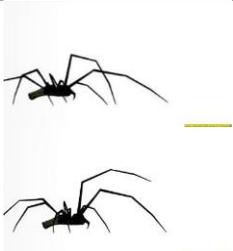
Setelah metode inverse kinematics diterapkan pada kaki laba-laba model animasi proses selanjutnya adalah dengan pengaturan sudut pada kaki, sudut yang diatur dalam aplikasi autodesk maya ini sesuai dengan hasil perhitungan dan sudut yang dimasukkan tidak boleh melebihi hasil perhitungan Tabel 1.



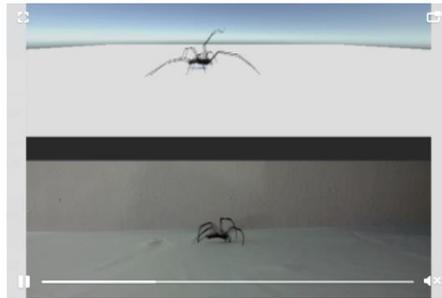
Gambar 8. Pengaturan Sudut Pada Aplikasi Autodesk Maya

Pembuatan model gerak dengan metode *frame by frame* Pada tahap ini dilakukan pembuatan animasi pada model Laba-laba. Animasi yang dibuat adalah gerak langkah (*walk cycle*). Dalam proses pengerjaan animasi langkah ini menggunakan metode *frame by frame*. Perpindahan kaki dilakukan dengan mengatur posisi tulang pada model Laba-laba yang mengacu pada gerakan Laba-laba aslinya.

Tabel 2. Gerakan *Frame By Frame*

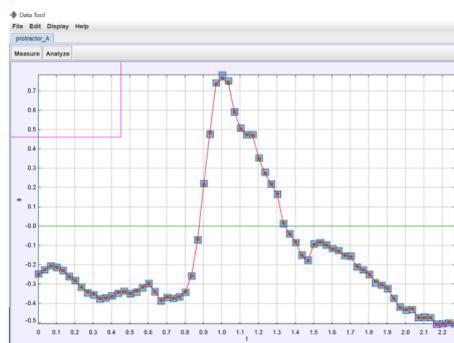
Gerak asli	Gerak animasi
	

Pengujian model gerakan dilakukan dengan cara memutar hasil animasi yang telah dibuat dan membandingkan antara animasi dengan video *live shoot* hewan Laba-laba. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat *setup rigging*, mengamati pergerakan model Laba-laba dan menganalisis jika terdapat kesalahan-kesalahan dalam proses *setupbone* maupun proses animasi. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan *software Sony Vegas* dan *Unity 3D*.



Gambar 9. Perbandingan Model Gerak

Pengujian simulasi dilakukan dengan menjalankan animasi Laba-laba berjalan yang diberikan arah tujuan dari klik mouse. Pengujian tersebut menggunakan aplikasi Unity3D. Dalam mengukur perbandingan sudut pangkal kaki ini, menggunakan aplikasi Tracker.



Gambar 10. Kurva Perbandingan Sudut

Kurva menunjukkan adanya perbedaan sudut pada laba-laba asli dan laba-laba animasi, pada kurva yang diberi warna merah adalah laba-laba asli dan warna biru adalah laba-laba animasi, dengan sumbu x keterangan waktu dan sumbu y derajat sudut dari 69 *frame* terdapat perbedaan dan selisih. Nilai *frame* sama 39 *frame* dengan selisih nilai sudut terkecil 0° dan 30 *frame* dengan nilai sudut berbeda, selisih nilai sudut terbesar yaitu 1° .

4. SIMPULAN

Metode *Inverse Kinematics* dan *frame by frame* dapat diterapkan dalam pembuatan simulasi animasi tiga dimensi berupa gerakan jalan hewan Laba-laba. Berdasarkan kurva pengukuran sudut pangkal kaki Laba-laba menggunakan aplikasi tracker dan hasil penilaian responden, tingkat akurasi kemiripan antara Laba-laba animasi yang menggunakan *inverse kinematics* dengan Laba-laba asli bernilai baik dengan nilai 81,7%. Nilai persentase tersebut didapatkan dari rata-rata penilaian tiga orang responden yang ahli di bidang animasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. S. Andriyanto, M. Suyanto, and Sukoco, 'Implementasi Metode Reynolds menggunakan Simulasi Kerumunan Bebek', *INTENSIF*, vol. 1, no. 2, Aug. 2017.
- [2]. S. Pamujianto, M. Suyanto, and A. F. Sofyan, 'Teknik Hand Tracking Menggunakan Metode Inverse Kinematics Pada Pembuatan Animasi 3D', *Journal of Information Technology and Computer Science (JOINTECS)*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [3]. S. Andriyanto and M. Suyanto, 'Simulasi Kerumunan Bebek Menggunakan Metode Reynolds', CDROM.
- [4]. A. Z. Rahman, E. Utami, and H. al Fatta, 'Implementasi Metode Inverse Kinematics Pada Gerakan Animasi 3D Karakter Manusia', *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 3, Nov. 2019.
- [5]. A. Ruuskanen, 'Inverse Kinematics in Game Character Animation Bachelor of Business Administration Information Technology', 2018.

-
- [6]. H.-I. Cho and S.-J. Shin, 'A Study for analysis of Inverse Kinematics system to Character Animations & Motion Graphics education', *International Journal of Advanced Smart Convergence*, vol. 10, no. 3, pp. 149–156, 2021, doi: 10.7236/IJASC.2021.10.3.149.
- [7]. A. D. Saputro, M. Suyanto, and Sukoco, 'SIMULASI GERAK ULAR MENGGUNAKAN METODE INVERSE KINEMATICS', *Jurnal Informasi Interaktif*, vol. 3, Mar. 2018.
- [8]. M. L. Famukhit, M. Suyanto, and Sukoco, 'Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics', *Journal Speed-Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi*, vol. 8, p. 1, 2016.
- [9]. Y. B. Widodo, T. Sutabri, and V. Lampah, 'Sistem Cerdas Pengontrolan Gerak Berbasis Random Walk pada Robot Laba-Laba 3)', *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer MH Thamrin*, vol. 6, no. 1, 2020, [Online]. Available: <http://journal.thamrin.ac.id/index.php/jtik/issue/view/2448>
- [10]. S. Starke, N. Hendrich, and J. Zhang, 'Memetic Evolution for Generic Full-Body Inverse Kinematics in Robotics and Animation', *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 23, no. 3, pp. 406–420, Jun. 2019, doi: 10.1109/TEVC.2018.2867601.
- [11]. J. Li, C. Xu, Z. Chen, S. Bian, L. Yang, and C. Lu, 'HybriK: A Hybrid Analytical-Neural Inverse Kinematics Solution for 3D Human Pose and Shape Estimation', China, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/Jeff-sjtu/HybriK>.
- [12]. I. Defra Nugraha, D. Putu, and M. Santika, 'Pendekatan Geometri untuk Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan', *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [13]. V. N. Iliukhin, K. B. Mitkovskii, D. A. Bizyanova, and A. A. Akopyan, 'The Modeling of Inverse Kinematics for 5 DOF Manipulator', in *Procedia Engineering*, 2017, vol. 176, pp. 498–505. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.349.
- [14]. J. J. Dunne, T. K. Uchida, T. F. Besier, S. L. Delp, and A. Seth, 'A marker registration method to improve joint angles computed by constrained inverse kinematics', *PLoS One*, vol. 16, no. 5 May, May 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0252425.
- [15]. R. Andianto, R. Maulana, and G. E. Setyawan, 'Perancangan dan Implementasi Sistem Pola Berjalan Pada Robot Humanoid Menggunakan Metode Inverse Kinematic', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informatika dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 8, Aug. 2018, [Online]. Available: <http://j-ptjtk.ub.ac.id>
- [16]. F. Rokhman Iskandar, I. Sucahyo, M. Yantidewi, P. Studi Fisika, and U. Negeri Surabaya, 'Penerapan Metode Invers kinematik Pada Kontrol Gerak Robot Lengan Tiga Derajat Bebas', *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, pp. 64–71, 2020.
- [17]. S. Trocaru, C. Berlic, C. Miron, and V. Barna, 'USING TRACKER AS VIDEO ANALYSIS AND AUGMENTED REALITY TOOL FOR INVESTIGATION OF THE OSCILLATIONS FOR COUPLED PENDULA', *Rom Rep Phys*, vol. 72, p. 902, 2020, [Online]. Available: <http://www.rrp.nipne.ro>.
- [18]. I. Hadi Purwanto, L. Qodarsih, F. Hafizh Majid, and K. Arlinta Syamrahmarini, 'Implementasi Pose To Pose Pada Simulasi Gerak Panda Berjalan Dengan Teknik Frame By Frame', *Jurnal Explore STMIK Mataram*, vol. 9, 2019.
- [19]. D. Kuswanto and J. Desain, 'METODE MOTION CAPTURE BERBASIS VIDEO UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PROSES IN BETWEEN PADA PRODUKSI FILM ANIMASI 2D'.
- [20]. S. R. U. A. S. R. S. Bryan Johannes Roland Rantung, 'Penerapan Motion Capture Dalam Pembuatan Animasi 3D Gerakan Dasar Kempo', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, pp. 119–126, 2021, Accessed: Jan. 13, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom>