



## **Optimization of Timing and Follow-Through Principles in Animal Motion Design: A 3D Approach for the Educational Game 'Suaka Satwa'**

**Atifa Syalsabilla Juyendra<sup>1</sup>, Geovanne Farell<sup>2</sup>,  
Sheanny Ocni Sakti<sup>3</sup>, Wiki Lofandri<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Animasi, Sekolah Vokasi, Universitas Negeri Padang

e-mail: atifaslsb@gmail.com, geovannefarell@ft.unp.ac.id, sheannyos@ft.unp.ac.id,  
wiloleaks@unp.ac.id

### **ABSTRACT**

This study optimizes the principles of timing and follow-through in 3D animation for the educational game "*Suaka Satwa*", which aims to introduce seven rare Indonesian animals to children aged 5–10. Using a Design Thinking approach, the study employs digital observation and literature review to identify the natural movement characteristics of each animal. The implementation of Inverse Kinematics (IK) and Forward Kinematics (FK) techniques was carried out to create realistic animations for idle, walking, and feeding movements. The results show a significant correlation between the animal's body size and the application of timing, as well as the effectiveness of follow-through in flexible body parts such as tails, trunks, and fins. The evaluation indicates that natural animation significantly contributes to the game's educational value by creating realistic and engaging visual representations. This research enhances animation standards in educational game development and offers an innovative approach to wildlife education.

**Keywords: 3D Animation, Educational Game, Endangered Animals, Timing and Follow-Through, Design Thinking**

### **PENDAHULUAN**

Animasi 3D telah menjadi komponen penting dalam pengembangan media interaktif modern. Dalam konteks game edukasi, animasi 3D berperan signifikan untuk menciptakan pengalaman visual yang menarik dan realistis, sekaligus meningkatkan interaktivitas bagi penggunaannya. Seiring kemajuan teknologi, penggunaan animasi 3D semakin meluas di berbagai sektor, termasuk industri game edukasi yang menciptakan pengalaman belajar lebih mendalam dan efektif (Rohmatulloh et al., 2022).

Indonesia memiliki kekayaan biodiversitas yang luar biasa, termasuk berbagai spesies hewan langka yang populasinya kurang dari 10.000 ekor secara global. Kelangkaan ini disebabkan oleh faktor alami maupun aktivitas manusia, seperti rendahnya tingkat reproduksi, keterbatasan sumber makanan, kerusakan habitat, dan perburuan liar (Afit Muhammad Lukman, 2019). Sayangnya, sebagian besar anak-anak masih kurang memahami keberadaan hewan-hewan ini, ditambah dengan keterbatasan media digital yang menyajikan informasi secara informatif dan interaktif (Azam Fajri & Zakariyah, 2023).

Pendekatan edukasi yang interaktif sangat diperlukan dalam proses pembelajaran konservasi satwa langka (Melati et al., 2023). Pengenalan satwa langka pada anak-anak tidak hanya memberikan pengetahuan tentang spesies yang terancam punah, tetapi juga menumbuhkan kepedulian terhadap lingkungan dan pemahaman tentang ekosistem (Aulia Rahma Sari, 2020).

Game edukasi "Suaka Satwa" hadir sebagai solusi inovatif dengan pendekatan *learning by doing*, di mana pemain belajar secara aktif melalui interaksi langsung. Fitur-fitur dalam game ini mendukung proses pembelajaran dan meningkatkan pemahaman pemain (Najuah et al., 2022), sekaligus mendorong anak-anak untuk mengeksplorasi pengetahuan baru secara lebih luas (Bahri & Wahdian, 2021).

Tantangan utama dalam pengembangan game ini adalah menciptakan gerakan satwa yang natural melalui optimalisasi prinsip *Timing* dan *follow-through*. Prinsip *Timing* mengatur durasi gerakan agar sesuai dengan karakteristik satwa, sementara *follow-through* memastikan kelanjutan gerakan yang natural. Penerapan teknik Inverse Kinematics (IK) dan Forward Kinematics (FK) menjadi krusial dalam menciptakan gerakan yang realistis dan dinamis, didukung oleh perangkat lunak seperti Blender dan Cascadeur.

Melalui pendekatan ini, "Suaka Satwa" diharapkan tidak hanya menjadi sarana hiburan, tetapi juga media pembelajaran yang membantu anak-anak mengenal dan memahami hewan-hewan langka Indonesia dengan cara yang menyenangkan dan mendidik.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dikembangkan adalah menggunakan pendekatan *Design Thinking* dengan didukung oleh teknik pengambilan data yang relevan serta analisis SWOT untuk mengoptimalkan hasil pengembangan. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam menghasilkan solusi yang berpusat pada pengguna (*human-centered*), terutama untuk target audiens anak-anak usia 5-10 tahun. Dengan demikian, *design thinking* mendorong terciptanya kolaborasi kreatif, pemikiran terbuka, dan pengembangan solusi yang sesuai kebutuhan pengguna (Walker et al., 2019).

### 1. Pendekatan Design Thinking

Design Thinking menyediakan kerangka kerja holistik untuk mengoptimalkan penerapan prinsip *Timing* dan *follow-through*, serta teknik Inverse Kinematics (IK) dan Forward Kinematics (FK) dalam animasi 3D. Metode ini terdiri dari lima tahapan utama:

#### a. Empati (*Empathize*)

Pada tahap ini, fokus penelitian diarahkan pada pemahaman kebutuhan anak-anak dalam konteks pengenalan satwa melalui media interaktif. Pengumpulan data dilakukan melalui:

- 1) Observasi digital terhadap perilaku satwa
- 2) Studi literatur tentang karakteristik dan gerakan alami hewan langka

Tahap ini bertujuan untuk memahami bagaimana animasi gerakan satwa yang realistis dapat meningkatkan keterlibatan pengguna dan memberikan pengalaman belajar yang bermakna.

#### b. Merumuskan Masalah (*Define*)

Berdasarkan wawasan dari tahap empati, permasalahan utama dirumuskan: bagaimana mengoptimalkan penerapan prinsip *Timing* dan *follow-through* dalam animasi 3D pada game "Suaka Satwa" untuk menciptakan gerakan yang realistis sekaligus mampu mengenalkan kepada pengguna tentang hewan langka Indonesia.

Pertimbangan penting lainnya adalah pemanfaatan teknik Inverse Kinematics (IK) dan Forward Kinematics (FK) untuk meningkatkan kualitas animasi 3D dalam game.

c. Menghasilkan Ide (*Ideate*)

Tahap ideasi menghasilkan berbagai konsep untuk gerakan animasi satwa, dengan fokus pada gerakan dasar seperti berjalan, duduk, makan, *Idle* (posisi istirahat), serta animasi menggunakan ekspresi (*emoticon*).

Eksplorasi dilakukan untuk memilih gerakan yang optimal berdasarkan prinsip *Timing* dan *follow-through* untuk tujuh satwa yang direpresentasikan dalam game adalah Harimau Sumatra, Badak Jawa, Gajah Sumatra, Orangutan Sumatra, Penyu Belimbing, Burung Jalak Bali, Buaya Muara

d. Membuat Prototipe (*Prototype*)

Prototipe animasi dikembangkan dengan mengedepankan prinsip *Timing* dan *follow-through* untuk menciptakan gerakan satwa yang realistis. Prototipe mencakup rangkaian gerakan dasar yang memungkinkan pengguna mengenali karakteristik fisik dan perilaku satwa langka Indonesia.

e. Pengujian (*Test*)

Evaluasi prototipe dilakukan melalui pengujian oleh tim pengembang. Umpan balik yang diperoleh difokuskan pada kualitas gerakan animasi, tingkat realisme, dan efektivitas dalam menyampaikan karakter satwa.

f. Implementasi dan Iterasi

Berdasarkan hasil pengujian, perbaikan berkelanjutan dilakukan untuk meningkatkan kualitas animasi gerakan satwa agar lebih realistis dan mendukung tujuan edukasi.

2. Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data untuk pengembangan animasi menggunakan dua pendekatan utama:

a. Observasi Studi Literatur

Data akademik dikumpulkan dari berbagai sumber terpercaya, meliputi:

- 1) Jurnal ilmiah (Fadly et al., 2023; Pratama et al., 2024; Wulandari et al., 2019)
- 2) Publikasi penelitian lapangan (Petria & Atifah, 2023; Yekwam & Pattiwael, 2022)
- 3) Laporan Laporan lembaga penelitian (Firmanza & Sjahfirdi, 2023; Pratiwi et al., 2022)

Informasi yang dikumpulkan mencakup:

- 1) Pola perilaku khas masing-masing satwa
- 2) Karakteristik gerakan dasar
- 3) Waktu aktivitas harian
- 4) Interaksi sosial dan lingkungan

b. Observasi Video Digital

Analisis visual dilakukan terhadap rekaman video dokumenter satwa dari sumber terpercaya seperti National Geographic, TVRI Nasional, dan channel YouTube khusus konservasi. Proses observasi meliputi:

- 1) Analisis frame-by-frame untuk menangkap detail gerakan
- 2) Pengukuran durasi aktivitas (*Timing*)
- 3) Identifikasi pola gerakan khas (*follow-through*)
- 4) Dokumentasi interaksi satwa dengan lingkungannya

3. Teknik Analisis Produk

Analisis SWOT dipilih sebagai metode evaluasi pengembangan animasi game "Suaka Satwa" karena kemampuannya dalam mengidentifikasi aspek-aspek berikut:

- a. Strengths (Kekuatan)
  - 1) Realisme dalam gerakan satwa melalui optimalisasi prinsip *Timing* dan *follow-through*
  - 2) Desain animasi interaktif yang menarik bagi anak-anak
  - 3) Fokus edukatif pada pengenalan hewan langka Indonesia
- b. Weaknesses (Kelemahan)
  - 1) Keterbatasan dalam penguasaan teknologi animasi
  - 2) Kendala sumber daya dalam produksi
  - 3) Target audiens yang spesifik (anak-anak 5-10 tahun)
- c. Opportunities (Peluang)
  - 1) Peningkatan kapabilitas teknologi animasi
  - 2) Potensi ekspansi ke berbagai platform
  - 3) Peluang kolaborasi dengan organisasi konservasi
- d. Threats (Ancaman)
  - 1) Tantangan dalam penyampaian pesan edukatif
  - 2) Keterbatasan infrastruktur teknologi
  - 3) Risiko penurunan kualitas animasi dan gameplay
  - 4) Respons target pasar yang tidak konsisten

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Deskripsi Gameplay Suaka Satwa

Berikut adalah tabel gameplay suaka satwa yang menampilkan alur permainan, aktivitas utama, serta interaksi pemain dengan satwa di setiap tahap.

**Tabel 1. Tampilan dan Interaksi Pemain dalam Gameplay Suaka Satwa**

Tampilan Game	Deskripsi
	<p>Pemain menjalankan aplikasi game hingga muncul tampilan awal berupa <i>splash screen</i> dan menuju ke menu utama.</p>
	<p>Menu utama menyediakan beberapa pilihan seperti <i>Mulai Game</i>, <i>Tentang Game</i> dan <i>Keluar</i>, yang memudahkan pemain menavigasi fitur dalam game.</p>

Tampilan Game	Deskripsi
	<p>Bagian ini menampilkan informasi singkat mengenai latar belakang, tujuan edukatif, serta daftar satwa langka yang diperkenalkan dalam game.</p>
	<p>Pemain mengendalikan perspektif dan pergerakan tokoh utama menggunakan keyboard dan mouse</p>
	<p>Pemain dibebaskan untuk keliling melihat kebun binatang dan memilih binatang yang ingin diselesaikan misi nya</p>
	<p>Setiap Binatang (Harimau, Gajah, Buaya, Burung Jalak, Orangutan, Penyu Belimbing dan Badak) memiliki papan informasi yang dapat diakses kapan saja, berisi penjelasan tentang perilaku, habitat dan status konservasinya.</p>
	<p>Setiap kali pemain ingin memberi makan hewan, pemain harus menjawab kuis.</p>
	<p>Ketika pemain menyelesaikan misi memberikan makan dengan kuis, selanjutnya, pemain perlu membersihkan semua hewan dengan <i>click pop-up</i>.</p>

Tampilan Game	Deskripsi
	<p>Setelah pemain mengklik pop-up untuk membersihkan hewan, akan muncul efek gelembung (<i>bubble</i>) sebagai penanda proses pembersihan.</p>
	<p>Setelah misi selesai dilakukan, pemain akan diberikan penghargaan berupa medali sebagai bentuk apresiasi atas pencapaian tersebut.</p>
	<p>Pemain bebas menekan tombol main lagi untuk mengulang permainan dari awal atau keluar untuk kembali ke menu utama.</p>

### Hasil Implementasi Tahapan Design Thinking

Penelitian ini menghasilkan animasi gerakan dasar untuk tujuh jenis satwa langka Indonesia yang diimplementasikan dalam game edukasi "Suaka Satwa" untuk anak usia 5-10 tahun. Animasi mencakup gerakan idle (diam hidup), walk (berjalan), dan makan, dengan fokus pada penerapan prinsip *Timing* dan *follow-through* untuk menghasilkan gerakan yang natural.

#### Hasil Tahap Empati (*Empathize*)

Observasi digital terhadap gerakan alami satwa menghasilkan identifikasi karakteristik spesifik setiap spesies. Misalnya, Badak Jawa menunjukkan gerakan lambat dan berat dengan langkah kokoh, sedangkan Harimau Sumatra memperlihatkan gerakan lincah dengan postur waspada saat mengintai. Penentuan kebutuhan pengguna (anak-anak 5-10 tahun) menetapkan bahwa animasi harus menggabungkan realisme biologis dengan visual yang mudah dipahami.

#### Hasil Tahap Merumuskan Masalah (*Define*)

Permasalahan utama yang teridentifikasi meliputi:

1. Kebutuhan animasi gerakan yang realistis namun tetap menyenangkan bagi anak-anak
2. Perlunya *Timing* yang tepat untuk setiap gerakan sesuai karakteristik satwa
3. Pentingnya implementasi *follow-through* untuk kesan natural
4. Tantangan teknis dalam penerapan IK/FK pada struktur anatomi yang bervariasi

#### Hasil Tahap Menghasilkan Ide (*Ideate*)

Berdasarkan observasi digital terhadap karakteristik gerakan alami satwa, dikembangkan konsep animasi spesifik untuk masing-masing satwa. Tabel 1 menunjukkan konsep gerakan beserta penerapan *Timing* dan *follow-through*.

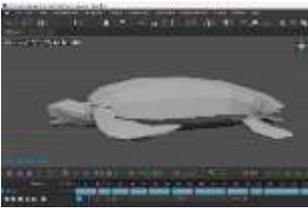
**Tabel 2. Konsep Gerakan Animasi untuk Setiap Satwa**

Satwa	Konsep Gerakan	Penerapan <i>Timing</i>	Penerapan <i>Follow-through</i>	Teknik Utama
Badak Jawa	Berjalan lambat dengan tubuh berat, idle dengan gerakan kepala	Tempo lambat (25-30 <i>frame</i> per <i>step</i> )	Gerakan kepala yang bergoyang	FK untuk tubuh utama, IK untuk kaki
Harimau Sumatra	Berjalan fokus, Diam mengintai, Makan	Tempo bervariasi (1-23 <i>frame</i> <i>walking</i> )	Ekor yang bergerak natural	FK untuk tubuh utama
Gajah Sumatra	Berjalan berirama, menggerakkan belalai	Tempo lambat (28-36 <i>frame</i> per <i>step</i> )	Belalai yang bergerak independen	FK untuk belalai, IK untuk kaki
Penyu Belimbing	Berenang dengan sirip, merayap di darat	Tempo lambat di darat (28-54 <i>frame</i> ), cepat di air (35-51 <i>frame</i> )	Sirip yang mengalir di dalam air	FK untuk sirip
Orangutan Sumatra	Berjalan, Posisi diam tetap hidup, Duduk	Tempo sedang-lambat (20-28 <i>frame</i> )	Lengan panjang yang menopang tubuh saat berjalan	IK untuk lengan dan kaki
Buaya Muara	Berjalan dengan ekor	Tempo sedang di darat (17 <i>frame</i> per <i>step</i> )	Ekor yang bergelombang	FK untuk tubuh dan ekor, IK untuk kaki
Burung Jalak Bali	Melompat dengan kepakan sayap, Mematuk	Tempo cepat saat lompat (82-94 <i>frame</i> )	Ekor yang melambat saat turun	FK tubuh utama, IK untuk kaki

**Hasil Tahap Prototipe (Prototype)**

Prototipe animasi dikembangkan dengan implementasi gerakan idle, walk, dan makan pada ketujuh satwa. Penggunaan teknik IK/FK disesuaikan dengan karakter setiap satwa.

**Tabel 3. Detail Prototipe Animasi yang Dikembangkan**

Nama Satwa	Tampilan Satwa	Jumlah <i>Keyframe</i>	Frame Rate/ Durasi (detik)	Teknik Utama
Badak Jawa		<i>Walk 50 frames / cycle</i>	30 fps / 10,26	IK untuk kaki, <i>Timing</i> lambat dan berat pada langkah, <i>follow through</i> pada ekor dan kepala
		<i>Eat 90 frames / cycle</i>		
		<i>Idle 186 frames / cycle</i>		
Harimau Sumatra		<i>Walk 46 frames / cycle</i>	24 fps / 14,21	FK untuk kaki, <i>Timing</i> tubuh yang tampak waspada dan gesit, <i>follow-through</i> pada ekor
		<i>Eat 100 frames / cycle</i>	30 fps / 14,21	
		<i>Idle 252 frames / cycle</i>		
Gajah Sumatra		<i>Walk 69 frames / cycle</i>	30 fps / 7, 32	IK untuk kaki, FK pada torso dan belalai, <i>Timing</i> gerakan tubuh yang lambat, <i>follow through</i> pada ekor dan belalai ketika diam
		<i>Eat 52 frames / cycle</i>		
		<i>Idle 121 frames / cycle</i>		
Penyu Belimbing		<i>Walk 72 frames / cycle</i>	30 fps / 7,41	FK untuk sirip, <i>Timing</i> lambat menyeret tubuh karena berat, <i>follow through</i> pada sirip
		<i>Eat 128 frames / cycle</i>		
		<i>Idle 51 frames / cycle</i>		
Orangutan Sumatra		<i>Walk 53 frames / cycle</i>	30 fps / 10,35	IK untuk lengan dan kaki, <i>Timing</i> pada gerakan tubuh mengayun pelan dan penuh perhitungan, kepala dan bahu mengikuti langkah dengan <i>follow-through</i> lembut
		<i>Eat 120 frames / cycle</i>		
		<i>Idle 160 frames / cycle</i>		
Buaya Muara		<i>Walk 34 frames / cycle</i>	30 fps / 9,15	FK untuk tubuh dan ekor, IK untuk kaki, <i>Timing</i> pada tubuh sedikit mengayun saat
		<i>Eat 90 frames / cycle</i>		

Nama Satwa	Tampilan Satwa	Jumlah <i>Keyframe</i>	Frame Rate/ Durasi (detik)	Teknik Utama
		<i>Idle 162 frames / cycle</i>		maju, follow through pada ekor dan rahang
Burung Jalak Bali		<i>Walk 93 frames / cycle</i> <i>Eat 138 frames / cycle</i> <i>Idle 180 frames / cycle</i>	30 fps / 13,21	FK untuk sayap, IK pada kaki, <i>Timing</i> gerakan kepala cepat saat menoleh, pada follow through ekor melambat atau mengayun saat melompat

### Hasil Tahap Pengujian (Test)

Hasil pengujian prototipe animasi yang dilakukan bersama tim pengembang menghasilkan umpan balik sebagai berikut:

1. *Timing* pada Badak dan Gajah telah optimal, namun perlu perbaikan pada Harimau, Orangutan dan Penyu.
2. *Follow-through* efektif pada ekor Harimau dan belalai Gajah, namun perlu peningkatan pada gerakan sayap Jalak Bali
3. Implementasi IK/FK berhasil pada belalai Gajah dan lengan Orangutan, namun membutuhkan optimasi pada kaki Badak dan Harimau

### Hasil Implementasi dan Iterasi

Setelah pengujian prototipe awal, dilakukan iterasi dan perbaikan pada animasi gerakan satwa. Perbaikan utama mencakup:

1. Optimasi gerakan kaki pada Badak Jawa.
2. Penyesuaian *Timing* berjalan pada Harimau Sumatra.
3. Penguatan gerakan belalai pada Gajah Sumatra.
4. Peningkatan *Timing* gerakan berenang pada Penyu Belimbing.
5. Perbaikan *Timing* berjalan pada Orangutan Sumatera.
6. Penguatan *follow-through* pada ekor Buaya Muara.
7. Peningkatan *follow-through* pada sayap dan ekor Burung Jalak Bali.

### Analisis Penerapan Prinsip *Timing* dan *Follow-through*

#### 1. Analisis *Timing*

Penerapan prinsip *Timing* menunjukkan korelasi langsung antara ukuran tubuh satwa dengan kecepatan gerakan. Satwa dengan ukuran tubuh besar (badak, gajah) memerlukan *Timing* lebih lambat, sementara satwa dengan tubuh lebih kecil atau lincah (burung jalak, harimau) memerlukan *Timing* lebih cepat. Badak Jawa menggunakan 24-30 frame per langkah untuk mencerminkan massa tubuh besar, sedangkan Harimau Sumatra menampilkan gerakan yang lebih bervariasi (1-23 frame) untuk mencerminkan karakteristik predator.

Penambahan *slow-in* dan *slow-out* pada gerakan Badak Jawa berhasil meningkatkan kealamian gerakan yang sebelumnya tampak kaku. Gajah Sumatra

dengan langkah lambat (28-36 frame) berhasil memberikan kesan berat dan megah, dengan kontras pada gerakan belalai yang lebih cepat dan fleksibel.

## 2. Analisis Follow-through

Implementasi *follow-through* terbukti efektif terutama pada bagian tubuh fleksibel seperti ekor, belalai, dan sirip. Pada Harimau Sumatra, ekor tetap bergerak 8-12 frame setelah tubuh berhenti, menciptakan ilusi kehidupan dan meningkatkan realisme animasi. Gajah Sumatra menunjukkan *follow-through* pada belalai dan ekor dengan ritme gerakan yang menciptakan kesan hidup yang kuat.

Penyu Belimbing menampilkan *follow-through* pada sirip saat berenang, menciptakan efek gelombang yang alami dan representasi interaksi dengan air secara realistis. Hasil iterasi menunjukkan peningkatan signifikan pada aspek *follow-through*, terutama pada Buaya Muara dan Burung Jalak Bali.

### Analisis Implementasi Teknik IK/FK

Penelitian menunjukkan bahwa teknik Inverse Kinematics (IK) dan Forward Kinematics (FK) memiliki keunggulan yang berbeda tergantung pada bagian tubuh dan karakteristik gerakannya. IK sangat efektif untuk bagian tubuh yang membutuhkan penentuan posisi endpoint spesifik, seperti kaki harimau saat berjalan dan lengan orangutan. Sementara FK lebih optimal untuk bagian tubuh yang memerlukan kontrol rinci pada setiap sendi, seperti ekor harimau dan sirip penyu.

**Tabel 4. Analisis Efektivitas IK/FK pada Animasi Satwa**

Satwa	Teknik	Efektivitas	Kelebihan	Tantangan
Badak Jawa	FK untuk torso dan ekor, IK untuk kaki.	Tinggi	Kontrol detail pada setiap joint	Waktu produksi lebih lama
Harimau Sumatra	Dominan FK	Tinggi	Gerakan kaki realistis dengan IK	Memerlukan banyak keyframe
Gajah Sumatra	FK untuk belalai dan ekor	Tinggi	Kontrol natural pada belalai	Setup rig yang kompleks
Penyu Belimbing	FK untuk sirip	Moderat	Kontrol detail pada gerakan sirip	Memerlukan banyak keyframe
Orangutan Sumatra	IK untuk lengan dan kaki	Tinggi	Gerakan tubuh yang realistis	Setup constraint yang rumit
Buaya Muara	IK untuk kaki, FK untuk ekor	Tinggi	Kontrol ekor yang detail	Time-consuming
Burung Jalak Bali	FK untuk sayap, IK untuk kaki	Moderat	Kontrol detail pada sayap	Gerakan lompat kecil kurang dinamis

### Implikasi Animasi dalam Konteks Game Edukasi

Kualitas animasi gerakan satwa memiliki dampak signifikan terhadap edukatif game "Suaka Satwa". Animasi yang realistis membantu anak-anak memahami karakteristik biologis satwa dengan lebih baik, seperti bagaimana ukuran dan massa tubuh mempengaruhi cara bergerak.

Variasi gerakan idle, berjalan, dan makan memberikan gambaran komprehensif tentang perilaku alami satwa, memperkaya pemahaman anak tentang karakteristik satwa langka. Animasi berkualitas tinggi juga terbukti meningkatkan *engagement* pemain, yang berdampak positif pada penyerapan konten edukatif.

Analisis SWOT terhadap produk akhir mengidentifikasi kekuatan utama berupa animasi gerakan satwa yang realistis dengan variasi gerakan yang cukup untuk menunjukkan karakteristik biologis setiap satwa. Kelemahan utama terletak pada keterbatasan variasi gerakan untuk beberapa satwa dan optimasi performa yang masih memerlukan penyempurnaan. Peluang pengembangan mencakup ekspansi ke platform mobile dan kolaborasi dengan lembaga konservasi, sementara ancaman utama berupa standar kualitas visual yang terus meningkat dan persaingan dengan game edukasi lain.

## KESIMPULAN

Optimalisasi prinsip *Timing* dan *follow-through* dalam animasi 3D gerakan satwa pada game edukasi "Suaka Satwa" telah berhasil menciptakan representasi visual yang realistis dan menyenangkan. Temuan menunjukkan bahwa *Timing* yang disesuaikan dengan karakteristik fisik satwa dan *follow-through* pada bagian tubuh fleksibel merupakan faktor kunci dalam menciptakan animasi yang natural. Kombinasi optimal antara teknik IK dan FK juga terbukti menghasilkan gerakan yang lebih realistis dan efisien. Game ini mendemonstrasikan potensi media interaktif dalam mengenalkan satwa langka kepada anak-anak, membuktikan bahwa animasi 3D dapat menjadi jembatan antara pembelajaran dan hiburan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan standar animasi dalam game edukasi serta pendekatan baru dalam edukasi satwa langka.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afit Muhammad Lukman, D. A. (2019). Aplikasi mobile memiliki user interface dengan mekanisme interaksi unik yang disediakan oleh platform mobile . Aplikasi mobile juga telah dirancang khusus untuk platform mobile ( misalnya IOS , android , atau windows mobile ). *Evolusi*, 7(2), 58–65.
- Aulia Rahma Sari, R. (2020). PERANCANGAN BUKU ILUSTRASI “YUK MENGENAL SATWA LANGKA DI TAMAN NASIONAL BALURAN” BERGAYA SEMI ABSTRACT ART SEBAGAI MEDIA EDUKASI UNTUK ANAK 6-12 TAHUN. In *Jurnal Barik* (Vol. 1, Issue 1). <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/JDKV/>
- Azam Fajri, M., & Zakariyah, M. (2023). Rancang Bangun Aplikasi Pengenalan Hewan Langka Dan Terancam Punah Berbasis Augmented Reality. *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, 12(4). <https://doi.org/10.30591/smartcomp.v12i4.6050>
- Bahri, S., & Wahdian, A. (2021). Penguatan Nilai-Nilai Pendidikan Karakter Melalui Game Edukasi Icando di Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar Nusantara*, 6(2), 23–41. <https://doi.org/10.29407/jpdn.v6i2.15078>
- Fadly, M., Yoza, D., & Darlis, V. V. (2023). Pola Perilaku Harimau Sumatera (*Panthera Tigris Sumatrae*) di Pusat Rehabilitasi Harimau Sumatera Dharmasraya (PR-HSD) Arsari dalam Kawasan PT. Tidar Kerinci Agung, Sumatera Barat. *Hutan Tropika*, 18(1), 90–98. <https://doi.org/10.36873/jht.v18i1.8137>
- Firmanza, N. A., & Sjahfirdi, L. (2023). Perilaku Gajah Sumatra (*Elephas maximus sumatranus*) Betina pada Kandang Dalam di Taman Margasatwa Ragunan, Jakarta. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*, 8(1), 58–66. <https://jurnal.uai.ac.id/index.php/SST/article/view/1671>

- Melati, E., Fayola, A. D., Hita, I. P. A. D., Saputra, A. M. A., Zamzami, Z., & Ninasari, A. (2023). Pemanfaatan Animasi sebagai Media Pembelajaran Berbasis Teknologi untuk Meningkatkan Motivasi Belajar. *Journal on Education*, 6(1), 732–741. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i1.2988>
- Najuah, Sidiq Ricu, & Simamora Reny Sabrina. (2022). *Book*.
- Petria, S. G., & Atifah, Y. (2023). *Perbedaan Karakteristik Morfologi Badak Jawa ( Rhinoceros sondaicus ) dan Badak Sumatera ( Sumatran rhinoceros )*. 1000–1006.
- Pratama, C. D., Syaifullah, A., & Putri, D. K. (2024). *Review Artikel: Analisis Perilaku Orangutan Sumatera ( Pongo abelii ) dalam Lingkungan Penangkaran*. 867–873.
- Pratiwi, R. H., Ramadhanty, Y. E., & Asih, D. A. S. (2022). Analisis Pola Perilaku Buaya Muara (*Crocodylus porosus*) Di Taman Buaya Indonesia Jaya Bekasi. *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, 14(1), 37–44. <https://doi.org/10.25134/quagga.v14i1.4796>
- Rohmatulloh, G., Fakhirah Siregar, N., Widodo, A., & Artikel, I. (2022). Inovasi Media Pembelajaran 3 Dimensi Berbasis Teknologi pada Pembelajaran Biologi (Technology-Based 3 Dimensional Learning Media Innovation in Biology Learning). *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 08(04), 139–146. <https://online-journal.unja.ac.id/biodik>
- Walker, C., Nolen, T., Du, J., & Davis, H. (2019). *Applying Design Thinking*: 19–19. <https://doi.org/10.1145/3347709.3347775>
- Wulandari, S., Chairil ichsan, A., & Syahputra, M. (2019). PERILAKU SOSIAL JALAK BALI (*Leucopsar rotschildii* Stresemann 1912) DI KANDANG PERKEMBANGBIAKAN UNIT PENGELOLAAN KHUSUS PEMBINAAN JALAK BALI TEGAL BUNDER TAMAN NASIONAL BALI BARAT. *Jurnal Belantara*, 2(1), 10–16. <https://doi.org/10.29303/jbl.v2i1.70>
- Yekwam, Y., & Pattiwael, M. (2022). Perilaku Bertelur Penyu Belimbing (*Dermochelys coriacea*) di Pantai Jeen Womom Distrik Abun Kabupaten Tambrau. *Median*, 2, 47–54.