

## Analisis konsep fisika melalui pendekatan klasik pada animasi "Animation vs. Physics" oleh Alan Becker: Studi kasus gerakan stickman dan aplikasi prinsip mekanika klasik dalam konteks animasi

Ruben Cornelius Siagian<sup>1</sup>, Arip Nurahman<sup>2</sup>, Goldberd Harmuda Duva Sinaga<sup>3</sup>, Reza Ariefka<sup>4</sup>, Pandu Pribadi<sup>5</sup>

Received: 6 Januari 2024 · Accepted: 7 Februari 2024 · Published Online: 29 Februari 2024

Copyright © 2024, Wahana Pendidikan Fisika



### Abstract

This research explores the application of classical physics concepts to animation 'Animation vs. Physics' work by Alan Becker, especially in the representation of Stickman movement. Through the analysis of concepts such as displacement, velocity, force, momentum, and energy, this research aims to provide a deep visual understanding of the principles of classical physics. By limiting the focus to Stickman interactions with objects and the surrounding environment, this research provides an innovative foundation for physics teaching, presenting a more engaging visual approach and enriching students' understanding of abstract physics concepts. The implication of this research is the potential for using animation as an effective learning tool in teaching physics concepts that are difficult to understand. This research fills a gap in the physics education literature with a new approach that uses animation to explain physics concepts more visually and thoroughly, presenting an engaging and useful learning tool in physics education.

**Keywords:** Animasi pendidikan fisika · Konsep fisika klasik · Gerakan Stickman · Pengajaran interaktif · Media visual dalam pendidikan

### PENDAHULUAN

Dalam ranah pendidikan fisika, pengajaran konsep-konsep fisika klasik sering kali menantang karena sifatnya yang abstrak dan sulit dipahami bagi sebagian siswa (Galili, 2022). Penggunaan media visual, terutama animasi, telah menjadi fokus inovatif dalam menyampaikan materi pendidikan secara lebih menarik dan interaktif (Melati dkk., 2023). Penelitian ini mengambil perhatian terhadap animasi 'Animation vs. Physics' karya Alan Becker, yang menjadi sumber edukasi menarik yang memvisualisasikan konsep fisika melalui gerakan Stickman.

✉ Ruben Cornelius Siagian  
[rubensiagian775@gmail.com](mailto:rubensiagian775@gmail.com)

Arip Nurahman  
[aripnurahman@institutpendidikan.ac.id](mailto:aripnurahman@institutpendidikan.ac.id)

Pandu Pribadi  
[pandupribadi2384@gmail.com](mailto:pandupribadi2384@gmail.com)

Goldberd Harmuda Sinaga  
[goldberdhdsinaga@gmail.com](mailto:goldberdhdsinaga@gmail.com)

Reza Ariefka  
[rezaariefka@gmail.com](mailto:rezaariefka@gmail.com)

<sup>1</sup> Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia.

<sup>2</sup> Institut Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia.

<sup>3</sup> Universitas HKBP Nommenen Medan, Medan, Indonesia.

<sup>4</sup> STKIP Muhammadiyah OKU Timur, Ogan Komering Ulut Timur, Indonesia.

<sup>5</sup> STIT Muhammadiyah Banjar, Banjar, Indonesia.

**How to Cite:** Siagian, R.C., Nurahman, A., Dinaga, G. H. D., Ariefka, R. & Pribadi, P. (2024). Analisis Konsep Fisika Melalui Pendekatan Klasik pada Animasi 'Animation vs. Physics' oleh Alan Becker: Studi Kasus Gerakan Stickman dan Aplikasi Prinsip Mekanika Klasik dalam Konteks Animasi. *Wahana Pendidikan Fisika*, 9(1), 29-42. <https://doi.org/10.17509/wapfi.v9i1.66419>

Animasi tersebut menggambarkan situasi fisika dengan memanfaatkan karakter Stickman untuk mengeksplorasi prinsip-prinsip fisika klasik seperti perpindahan, kecepatan, gaya, momentum, dan energi. Namun, belum ada analisis mendalam yang memeriksa penerapan konsep fisika klasik ini dalam konteks animasi secara rinci.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam penggunaan konsep fisika klasik, terutama dalam hal perpindahan, kecepatan, gaya, momentum, dan energi, pada gerakan Stickman dalam animasi 'Animation vs. Physics'. Diharapkan hasil dari penelitian ini akan memberikan pemahaman visual yang lebih mendalam terhadap prinsip-prinsip fisika klasik kepada siswa. Manfaatnya adalah menyediakan pendekatan inovatif dalam pengajaran fisika, menghadirkan pemahaman yang lebih jelas dan menarik bagi siswa dalam memahami konsep-konsep fisika yang kompleks.

Penelitian ini membatasi analisis pada representasi gerakan Stickman dan interaksi dengan objek serta lingkungan sekitarnya dalam animasi 'Animation vs. Physics'. Fokusnya adalah pada konsep fisika klasik yang diterapkan pada situasi animasi yang tergambar. Implikasi dari penelitian ini adalah potensi penggunaan animasi sebagai alat pembelajaran yang efektif dalam menjelaskan konsep fisika yang sulit dipahami dengan cara yang lebih visual dan menyeluruh. Dengan menghadirkan pendekatan baru dalam pengajaran fisika, penelitian ini dapat meningkatkan minat dan pemahaman siswa terhadap konsep fisika klasik.

Penelitian ini mengisi celah dalam literatur pendidikan fisika dengan mendekati penggunaan animasi sebagai sarana untuk menggambarkan konsep fisika secara lebih visual dan mendalam. Novelty-nya terletak pada pendekatan inovatif yang memanfaatkan animasi sebagai alat pembelajaran yang menarik dan bermanfaat. Penelitian ini terinspirasi oleh karya-karya sebelumnya yang mengulas penerapan media visual dalam pengajaran fisika dan penggunaan animasi dalam konteks pendidikan. Studi-studi terdahulu tentang pembelajaran fisika dengan pendekatan visual juga menjadi landasan bagi penelitian ini.

## **METODE**

Penelitian eksperimental ini merujuk pada video "Animation vs. Physics" karya Alan Becker, seorang animator online, tokoh YouTube, dan seniman Amerika yang terkenal karena seri web *Animator vs. Animation* dan rangkaian lanjutannya, terutama seri web *Animation vs. Minecraft Shorts* dan *Animation vs. Education*. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dimana peneliti memperhatikan dengan mendalam video tersebut dan melakukan analisis terhadap setiap pergerakan animasi tersebut. Melalui pendekatan fisika klasik, penelitian ini memperhatikan gerakan Stickman dalam skenario animasi yang menggambarkan konsep-konsep fisika utama seperti perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, momentum, torsi, energi kinetik, energi potensial, dan prinsip-prinsip kekekalan momentum.

### **Pengamatan Animasi**

Penelitian dimulai dengan melakukan pengamatan terhadap animasi yang melibatkan Stickman dalam berbagai situasi fisika. Detil gerakan Stickman, interaksi dengan objek seperti bola besar, penggunaan tali, dan perubahan lingkungan seperti adanya gesekan dan gravitasi dianalisis.

### **Penerapan Konsep Fisika**



Konsep fisika seperti perpindahan, kecepatan, dan percepatan diterapkan dalam konteks gerakan Stickman, khususnya saat jatuh ke planet, bergerak di permukaan planet, dan menggunakan tali sebagai lasso. Prinsip-prinsip mekanika klasik digunakan untuk menjelaskan gerakan Stickman dan objek di sekitarnya.

### **Analisis Kinematika dan Dinamika**

Persamaan kinematika digunakan untuk menggambarkan perpindahan, kecepatan, dan percepatan Stickman dalam berbagai situasi. Hukum Newton digunakan untuk menganalisis gaya yang bekerja pada Stickman dan objek lainnya, seperti gaya dorongan saat Stickman melemparkan bola.

### **Penggunaan Konsep Momentum dan Torsi**

Konsep momentum linear dan sudut digunakan untuk menjelaskan perubahan kecepatan Stickman dan bola besar saat terjadi interaksi, seperti saat Stickman melemparkan bola dan menggunakan bola sebagai pengungkit.

### **Penerapan Hukum Kekekalan Energi**

Hukum kekekalan energi digunakan untuk menjelaskan perpindahan energi kinetik dan potensial dalam skenario seperti bola besar yang bergerak ke bawah dan Stickman yang naik ke atas menggunakan pengungkit.

### **Eksplorasi Hukum Kekekalan Momentum Sudut**

Prinsip kekekalan momentum sudut digunakan untuk menjelaskan bagaimana torsi yang diberikan oleh Stickman pada bola besar mempengaruhi gerakan rotasi bola dan gerakan Stickman.

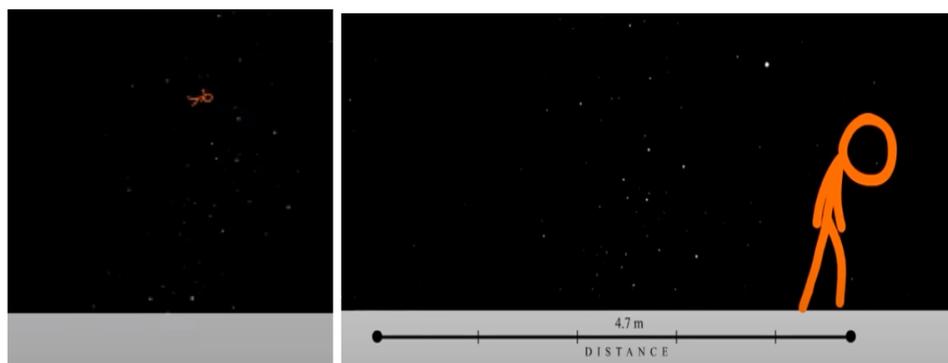
### **Evaluasi Hambatan dan Gesekan**

Efek gesekan dan hambatan diperhitungkan dalam analisis gerakan Stickman, terutama saat Stickman berjalan di lantai licin atau menggunakan bola sebagai pengungkit. Penelitian ini membahas secara rinci konsep fisika yang mendasari animasi tersebut, mencoba menjelaskan fenomena yang terjadi, dan mengaitkannya dengan prinsip-prinsip mekanika klasik. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman mendalam tentang bagaimana konsep-konsep fisika dapat diaplikasikan dalam konteks animasi dan simulasi.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil**

Stickman terbang di ruang hampa sebelum terpicat oleh pesona suatu planet, memulai petualangan baru dalam fisika. Saat langkahnya menginjak permukaan, muncul konsep mendasar yaitu perpindahan dan vektor besaran. Perpindahan, sebagai transisi posisi objek, menjadi model bagi gerak lurus beraturan yang memetakan jatuhnya Stickman ke planet itu. Dalam GLB (gerak lurus beraturan), rumus perpindahan ( $s$ ) terbit dari kecepatan awal ( $v_0$ ) dan percepatan ( $a$ ).



**Gambar 1.** Stickman jatuh dari luar angkasa dan berjalan ke kanan, menunjukkan perpindahan sejauh 4.7 meter dalam gambar (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Dalam GLB, perpindahan  $s$  suatu objek dalam rentang waktu ( $t$ ) dengan kecepatan awal  $v_0$  dan percepatan konstan ( $a$ ). Kecepatan, sebagai turunan dari perpindahan terhadap waktu, dijabarkan sebagai  $v = ds / dt$ . Dalam GLB dengan percepatan konstan, kecepatan bisa ditulis sebagai  $(v = v_0 + at)$ . Mencari keterkaitan antara ( $s$ ), ( $v_0$ ), ( $t$ ), dan ( $a$ ) menjadi tujuan. Dengan pemahaman  $v = ds / dt$  dan  $(v = v_0 + at)$ , Rumus untuk perpindahan ( $s$ ) pada objek dengan kecepatan awal ( $v_0$ ), percepatan ( $a$ ), dan waktu ( $t$ ) dapat diwakili dengan:

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \tag{1}$$

Ini berguna ketika kita memperkirakan perpindahan Stickman dalam pengaruh gravitasi Bumi. Untuk kasus di mana Stickman jatuh bebas, asumsi kecepatan awal ( $v_0$ ) adalah nol karena dia awalnya dalam keadaan diam.

Pada titik ini, konsep vektor masuk ke dalam perhitungan kecepatan Stickman setelah mencapai permukaan planet. Kecepatannya dapat memiliki komponen vertikal (ke bawah) dan horizontal, tergantung pada kecepatan awal horizontal dan waktu jatuh ke planet. Rumus displacement vektor dalam dua dimensi dapat diwakili oleh hukum Pythagoras dan trigonometri:

$$r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \tag{2}$$

Jika kita punya dua titik dalam bidang dua dimensi,  $P_1(x_1, y_1)$  dan  $P_2(x_2, y_2)$ , displacement vektor ( $\mathbf{r}$ ) dapat dihitung dengan:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \tag{3.a}$$

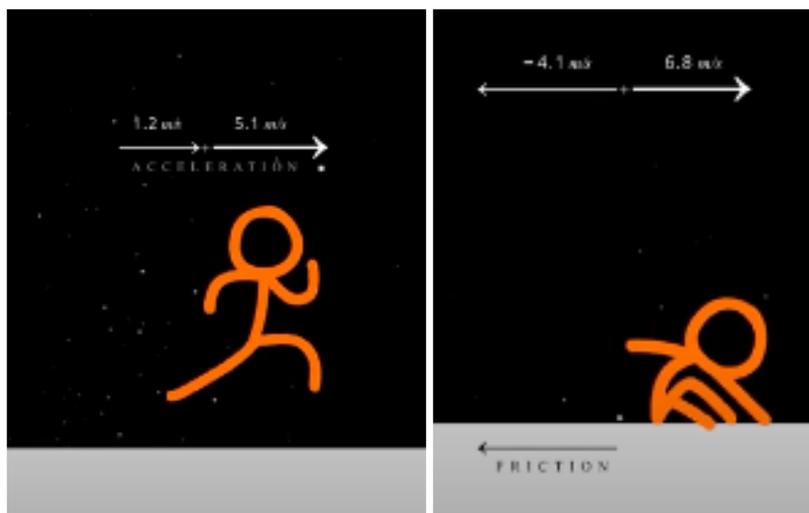
$$\Delta y = y_2 - y_1 \tag{3.b}$$

$$r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \tag{4}$$

Selanjutnya, penambahan kecepatan ( $\Delta v$ ) dapat direpresentasikan menggunakan rumus dasar fisika:

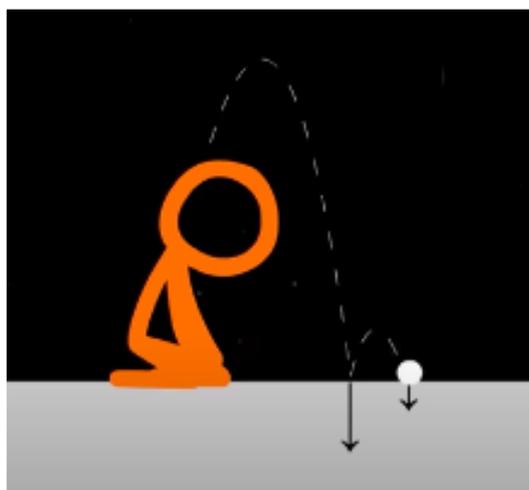
$$\Delta v = v_f - v_0 \tag{5}$$

di mana  $v_f$  adalah kecepatan akhir dan  $v_0$  adalah kecepatan awal dari objek yang bergerak lurus dalam rentang waktu  $\Delta t$ .



**Gambar 2.** Stickman berlari semakin cepat karena percepatannya bertambah, namun terjatuh karena gaya gesek yang mengurangi percepatan dan kecepatannya (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Ketika stickman berlari dan terjatuh, menggunakan persamaan kinematika membantu menghitung percepatan saat terjatuh. Persamaan yang digunakan adalah  $(0 = v_i + a \cdot t)$ , di mana  $(v_i)$  adalah kecepatan awal dan  $(a)$  adalah percepatan. Dari sini,  $a = -(v_i / t)$ , di mana nilai negatif menunjukkan berkurangnya kecepatan selama jatuh. Misalnya, jika stickman berlari dengan kecepatan  $(v_i = 5\text{m/s})$  dan berhenti dalam  $(t = 2\text{s})$ , percepatannya adalah  $(-2.5\text{m/s}^2)$ . Hukum Newton kedua  $(F = ma)$  juga menegaskan bahwa gaya pada benda sama dengan massa dikalikan percepatannya.



**Gambar 3.** Bola jatuh dari bintang, memantul di atas stickman (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Stickman, saat mengambil bola  $(m = 1\text{kg})$  yang jatuh dari langit dan melemparkannya ke atas dengan gaya  $(F = 10\text{N})$ , memberikan gaya yang menghasilkan percepatan pada bola. Hukum kedua Newton,  $(F = ma)$ , memungkinkan kita menghitung percepatan yang diberikan oleh Stickman kepada bola. Dalam contoh ini, dengan gaya  $(F = 10\text{N})$ , kita dapat menggunakan rumus  $(a = F / m)$  untuk menemukan nilai percepatan  $(a)$ :

$$a = \frac{10\text{N}}{1\text{kg}} = 10\text{m/s}^2 \quad (6)$$

Oleh karena itu, jika Stickman memberikan gaya sebesar (10N) pada bola dengan massa (1kg), bola akan mengalami percepatan sebesar ( $10\text{m/s}^2$ ) sesuai dengan hukum kedua Newton. Dari pernyataan ini memberikan gambaran bahwa bola akan bergerak ke atas hingga di suatu saat akan kembali kepada stickman akibat adanya gaya gravitasi.



**Gambar 4.** Stickman melempar bola ke atas, mengilustrasikan hukum Newton dengan  $\Sigma F = ma$ , menyebabkan bola kembali ke bawah akibat gaya gravitasi. (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Dalam fisika, konsep kerja dapat dijelaskan sebagai hasil dari gaya yang bekerja pada suatu benda dan perpindahan benda tersebut. Rumus matematis yang menghitung kerja, ( $W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$ ), menggambarkan hubungan antara gaya yang diterapkan pada benda (diukur dalam newton), perpindahan benda (diukur dalam meter), dan sudut antara arah gaya dan arah perpindahan. Kerja, yang diukur dalam joule (J), memperlihatkan seberapa besar energi yang dipindahkan atau diubah saat gaya diterapkan pada suatu objek.

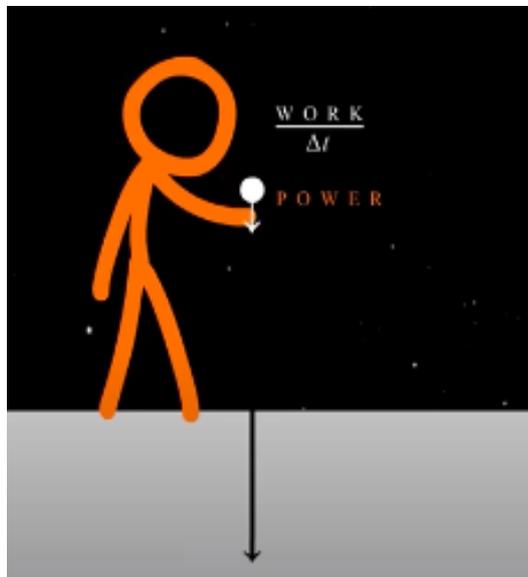


**Gambar 5.** Stickman mengangkat bola untuk menjelaskan konsep usaha: Gaya x Perpindahan (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Ketika gaya diterapkan sejajar dengan arah perpindahan ( $\theta = 0^\circ$ ) atau ( $\theta = 180^\circ$ ), rumusnya menjadi ( $W = F \cdot d$ ). Namun, jika gaya diterapkan tegak lurus terhadap arah perpindahan ( $\theta = 90^\circ$ ), kerja yang dihasilkan adalah nol karena gaya tidak berkontribusi pada perpindahan ( $\cos(90^\circ) = 0$ ).

Daya yang mengukur kecepatan energi dialirkan, atau pekerjaan dilakukan dalam fisika dihitung sebagai  $P = W / t$ , di mana (P) adalah daya, (W) adalah pekerjaan, dan (t) adalah waktu. Pekerjaan (W) sendiri dihitung sebagai hasil perkalian antara gaya (F) yang diberikan pada benda dan perpindahan benda (s) sepanjang lintasan yang dilalui.

Jika Stickman memberikan gaya ( $F = 10\text{N}$ ) pada bola dengan massa ( $m = 1\text{kg}$ ), dan bola mengalami percepatan ( $a = 10\text{m/s}^2$ ), kita bisa menggunakan persamaan untuk menghitung daya yang dihasilkan saat bola dilemparkan oleh Stickman.



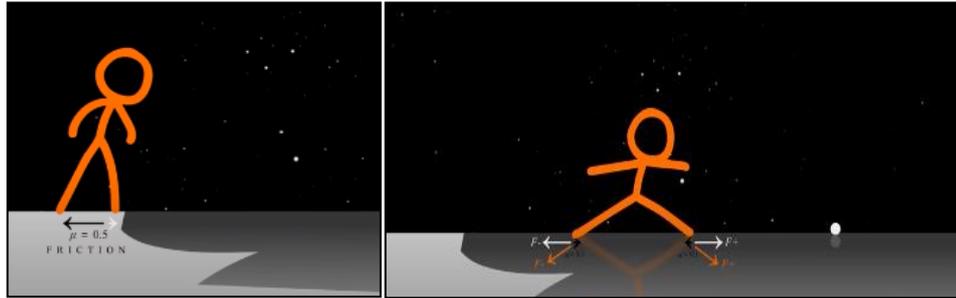
**Gambar 6.** Stickman melempar bola ke lantai untuk menjelaskan konsep Power sebagai usaha terhadap waktu (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Stickman melakukan pekerjaan saat memberikan gaya untuk mempercepat bola. Pekerjaan ini dihitung dengan mengalikan gaya (F) dengan perpindahan (s). Ketika bola dilemparkan dari ketinggian (h), pekerjaan gravitasi ( $W = mgh$ ) dilakukan untuk memindahkan bola. Dengan informasi ini, persamaan daya ( $P = W / t$ ) memungkinkan kita menghitung daya yang dihasilkan oleh Stickman.

Untuk memahami gerakan parabola, kita menggunakan prinsip dasar kinematika. Ketika bola dilempar di bawah pengaruh gravitasi, kecepatan bola terbagi menjadi dua komponen yaitu ( $v_x$ ) horizontal yang konstan dan ( $v_y$ ) vertikal yang dipengaruhi gravitasi. Gerakan horizontal dijelaskan oleh ( $x = x_0 + v_{x0} t$ ), sementara gerakan vertikal oleh  $y = y_0 + v_{y0} t - \frac{1}{2} g t^2$ , membentuk pola parabola.

Waktu terbang bola adalah ( $t_{\text{total}} = 2t_{\text{up}}$ ) dan jarak horizontal maksimum (R) dihitung sebagai ( $R = v_{x0} \cdot t_{\text{total}}$ ). Namun, model ini mengabaikan faktor seperti gesekan udara yang

memengaruhi gerakan sebenarnya. Misalnya, saat Stickman mengejar bola, gesekan antara kakinya dengan permukaan mempengaruhi gerakannya.

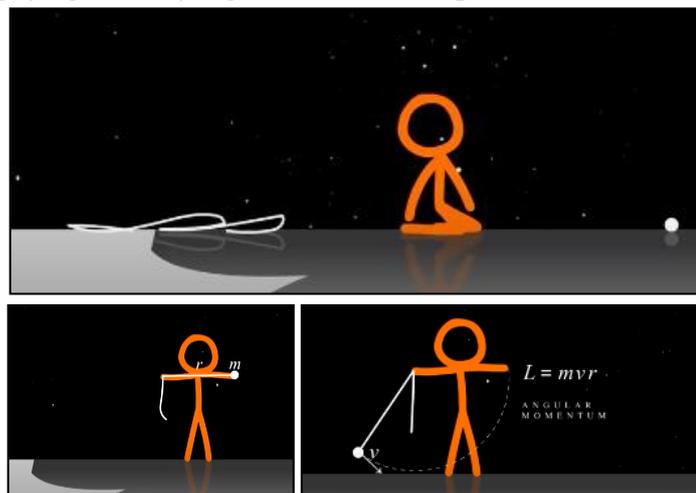


**Gambar 7.** Stickman berlari ke tanah tanpa gesekan, menemukan lantai licin yang memerlukan langkah hati-hati (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Gaya gesekan kinetik yang muncul dari gesekan antara permukaan tempat Stickman berlari dan sol kakinya dihitung dengan rumus ( $F_{\text{gesek}} = \mu_k \times N$ ), di mana  $\mu_k$  adalah koefisien gesek kinetik antara permukaan dan sol kaki. ( $N$ ) merupakan gaya normal yang menopang berat Stickman dan bisa dihitung sebagai ( $N = W = m \times g$ ), dengan ( $m$  sebagai massa Stickman dan ( $g$ ) sebagai percepatan gravitasi bumi.

Percepatan Stickman ( $a$ ) bisa dicari menggunakan ( $a = F_{\text{total}} / m$ ), di mana  $F_{\text{total}}$  adalah gabungan dari gaya dorongan kaki Stickman dan gaya gesek kinetik ( $F_{\text{gesek}}$ ). Jika asumsi kita adalah gaya dorongan cukup untuk mengatasi gaya gesekan, persamaannya adalah ( $F_{\text{total}} = F_{\text{dorongan}} - F_{\text{gesek}}$ ).

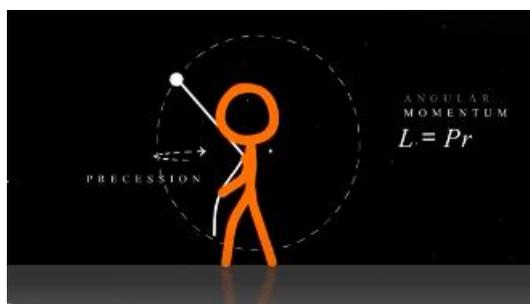
Namun, situasi sebenarnya bisa lebih rumit dengan faktor-faktor seperti hambatan udara atau kekasaran permukaan yang memengaruhi gerakan Stickman. Jika kaki Stickman licin dan gesekan sangat kecil, gaya gesek kinetik ( $F_{\text{gesek}}$ ) akan mendekati nol. Dalam keadaan ini, gaya total ( $F_{\text{total}}$ ) hampir sama dengan gaya dorongan ( $F_{\text{dorongan}}$ ) karena gaya gesek yang sangat kecil. Hal ini menyebabkan Stickman kesulitan menjaga keseimbangan dan berjalan secara stabil karena kurangnya gesekan yang membantu mempertahankan stabilitas.



**Gambar 8.** Stickman mengambil benang jatuh dari langit, membentangkannya menjadi tali sepanjang  $r$ , dan memutar tali yang terhubung ke bola untuk menampilkan angular momentum  $L = mvr$  (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Sumber: Animation vs. Physics, 2023

Dengan gerakan presisi, Stickman memutar bola dengan keahlian yang menghasilkan konsep momentum sudut yang memukau. Ketika Stickman mengambil tali untuk memutar bola, rumus ( $L = I\omega$ ) membantu menghitung momentum sudut, di mana ( $L$ ) adalah momentum sudut, ( $I$ ) adalah momen inersia benda, dan ( $\omega$ ) adalah kecepatan sudutnya. Untuk bola yang terhubung dengan tali, momen inersia ( $I$ ) sehubungan dengan pusat rotasi, seperti tali yang memegang bola, dapat dihitung berdasarkan bentuk dan distribusi massa bola. Sebagai contoh, untuk bola dengan massa seragam sekitar sumbu rotasi, momen inersia dapat dihitung sebagai  $I = 2/5 mr^2$ , dengan ( $m$ ) sebagai massa bola dan ( $r$ ) sebagai jari-jari bola. Dengan demikian, momentum sudut ( $L$ ) dapat ditulis sebagai  $L = (2/5 mr^2\omega)$ . Kecepatan sudut bola ( $\omega$ ) saat Stickman memutar bola bergantung pada frekuensi putaran yang diciptakan olehnya. Jika Stickman memutar bola dengan frekuensi putaran ( $f$ ) (putaran per detik), maka kecepatan sudutnya ( $\omega$ ) dapat dihitung sebagai ( $2\pi f$ ) (dalam radian per detik). Momentum sudut ( $L$ ) yang dihasilkan oleh Stickman saat memutar bola dengan tali dapat dihitung menggunakan rumus  $L = (2/5 mr^2\omega)$ . Momentum sudut adalah besaran vektor searah dengan sumbu rotasi, dan perubahan momentum sudut ( $\Delta L$ ) terjadi karena perubahan kecepatan sudut saat gaya luar memberikan torsi pada benda. Hukum kekekalan momentum sudut menyatakan bahwa jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja, momentum sudut sistem akan tetap konstan, yang penting dalam menjelaskan gerak rotasi suatu benda.



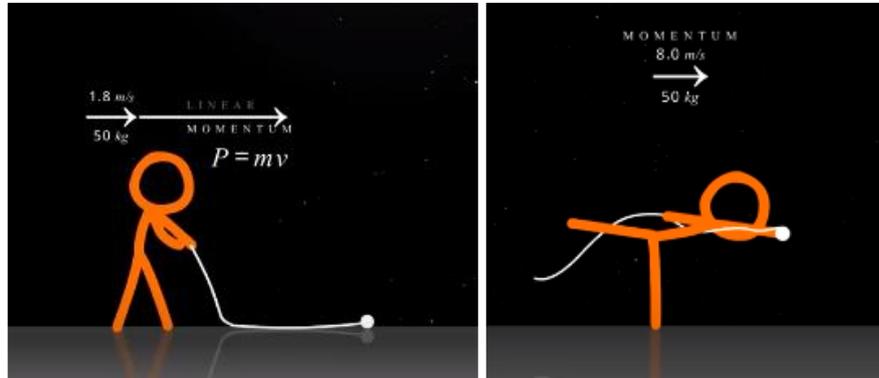
**Gambar 9.** Stickman menggunakan konsep Momentum Sudut ( $L = Pr$ ) untuk memutar bola dengan tali dalam gerakan rotasi yang disebut precession (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Hukum kekekalan momentum sudut menyatakan bahwa dalam sebuah sistem di mana tidak ada gaya eksternal yang bekerja, momentum sudutnya akan tetap konstan. Hal ini dinyatakan dengan menggunakan persamaan ( $L = r \times p$ ), di mana ( $L$ ) adalah momentum sudut, ( $r$ ) adalah jarak ke sumbu rotasi, dan ( $p$ ) adalah momentum linear. Ketika mempertimbangkan sistem dengan momen gaya eksternal nol, hukum kedua Newton untuk rotasi, ( $\tau = I\alpha$ ), dapat digunakan. Di sini, ( $\tau$ ) adalah momen gaya, ( $I$ ) adalah momen inersia, dan ( $\alpha$ ) adalah percepatan sudut.

Untuk benda padat berbentuk kaku, momen inersia ( $I$ ) bisa dihitung menggunakan ( $I = m \times r^2$ ), di mana ( $m$ ) adalah massa benda dan ( $r$ ) adalah jarak dari titik rotasi. Lebih lanjut, percepatan sudut ( $\alpha$ ) bisa diekspresikan sebagai ( $\alpha = a/r$ ), di mana ( $a$ ) adalah percepatan linear pada benda.

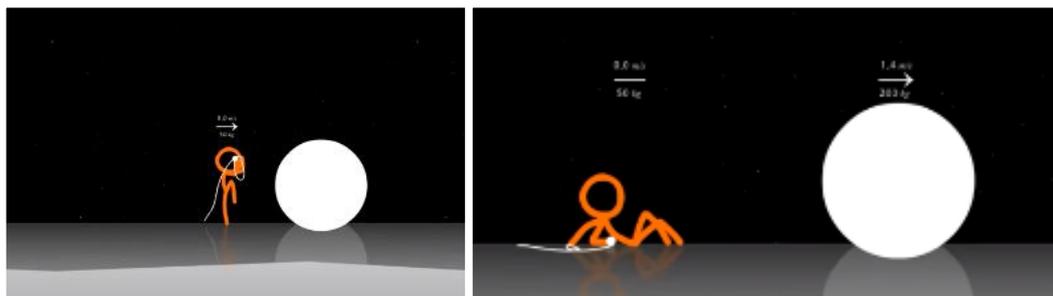


Menggabungkan persamaan-persamaan tersebut, kita dapat menemukan hubungan antara momentum sudut dan gaya linear yaitu ( $r \times F = L$ ). Jadi, jika gaya eksternal ( $F$ ) pada sistem adalah nol ( $F = 0$ ), maka momentum sudut ( $L$ ) akan tetap konstan, sesuai dengan prinsip kekekalan momentum sudut.



**Gambar 10.** Stickman melempar bola yang terhubung dengan tali, memaksa gerak maju dengan kecepatan 8 meter per detik di lantai licin (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Kita bisa menggunakan prinsip kekekalan momentum untuk menunjukkan bagaimana gerakan bola yang dilempar oleh stickman akan mempengaruhi gerakan kita. Saat bola diterima, hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa momentum total sebelum dan sesudah interaksi harus sama. Misalkan ( $m_1$ ) adalah massa bola yang dilempar, ( $v_1$ ) adalah kecepatannya, ( $m_2$ ) adalah massa kita, dan ( $v_2$ ) adalah kecepatan kita setelah menerima bola. Dengan menggunakan ( $m_1 \times v_1 = m_2 \times v_2$ ), kita bisa mengetahui bahwa kecepatan kita setelah menerima bola ( $v_2$ ) sejajar dengan gerakan bola, dinyatakan oleh ( $v_2 = (m_1 / m_2) \times v_1$ ). Ini membuktikan bahwa gerakan kita akan sejajar dengan arah gerakan bola yang dilempar oleh stickman.



**Gambar 11.** Stickman meluncur di lantai licin dan bertabrakan dengan bola besar, mentransfer energi kinetik yang membuat bola itu bergerak dari diamnya (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

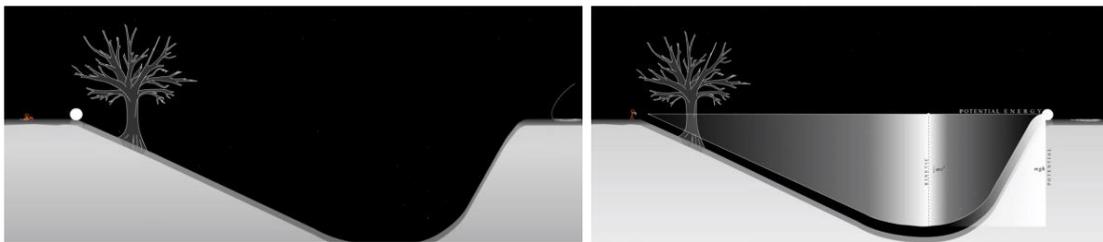
Dalam skenario ini, kita memulai dengan beberapa asumsi penting dimana Stickman bergerak tanpa hambatan dan gesekan diabaikan. Kemudian, tiba-tiba sebuah bola besar muncul, menghalangi Stickman, dan terjadi tumbukan elastis di antara keduanya. Asumsi terakhir adalah bahwa energi kinetik Stickman sebelum tumbukan akan sepenuhnya dialihkan ke bola besar setelah tumbukan.

Pertama, kita memandang prinsip kekekalan energi kinetik. Sebelum tumbukan, energi kinetik Stickman yang bergerak diwakili oleh ( $EK_{\text{awal}} = \frac{1}{2} m_{\text{Stickman}} v_{\text{awal}}^2$ ). Setelah terjadinya

tumbukan, seluruh energi kinetik Stickman akan beralih sepenuhnya ke bola besar. Energi kinetik bola besar setelah tumbukan dapat dinyatakan sebagai ( $EK_{akhir} = \frac{1}{2} m_{bola} v_{akhir}^2$ ). Dengan tidak adanya kehilangan energi dalam sistem, kekekalan energi kinetik menyatakan bahwa ( $EK_{awal} = EK_{akhir}$ ), yang menghasilkan persamaan ( $\frac{1}{2} m_{Stickman} v_{awal}^2 = \frac{1}{2} m_{bola} v_{akhir}^2$ ).

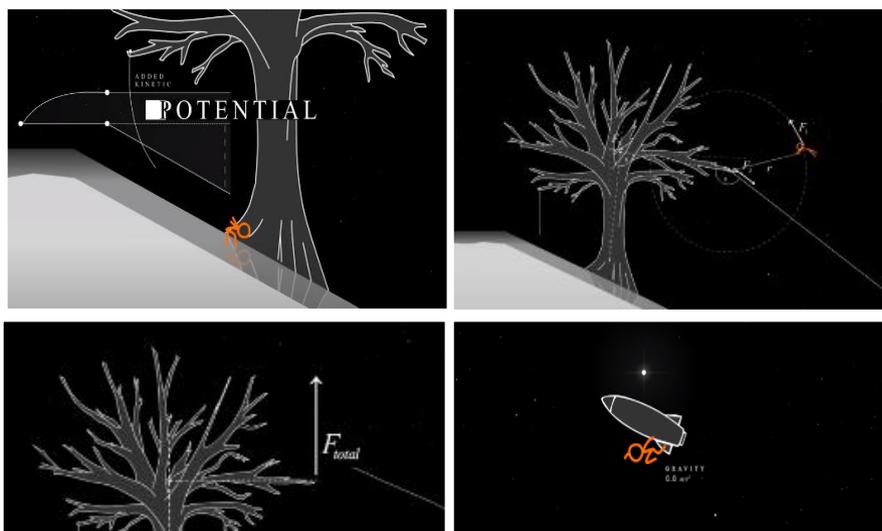
Kemudian, kita melanjutkan dengan hukum kekekalan momentum. Momentum sebelum tumbukan adalah momentum Stickman, yaitu ( $p_{awal} = m_{Stickman} v_{awal}$ ). Setelah terjadi tumbukan, momentum total sistem (Stickman + bola) harus tetap sama karena tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada system yaitu ( $p_{akhir} = m_{Stickman} v_{akhir} + m_{bola} v_{akhir}$ ).

Dalam tumbukan elastis, energi kinetik secara keseluruhan akan dialihkan dari Stickman ke bola besar. Akibatnya, Stickman akan berhenti karena tidak lagi memiliki energi kinetik, sementara bola besar akan menerima seluruh energi kinetik yang sebelumnya dimiliki oleh Stickman. Dari kekekalan energi kinetik dan hukum kekekalan momentum, kita dapat menyimpulkan bahwa energi kinetik Stickman sebelum tumbukan akan dialihkan sepenuhnya ke bola besar saat tumbukan elastis terjadi. Hal ini mengakibatkan Stickman berhenti dan bola besar yang semula diam akan mulai bergerak setelah tumbukan.



**Gambar 12.** Stickman mentransfer energi ke bola, memicunya meluncur di lintasan menurun, mengikuti konsep kekekalan energi hingga berhenti di titik akhir (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Saat sebuah benang turun tiba-tiba dari langit, kita menerapkan prinsip-prinsip fisika mendasar untuk membuktikan bahwa energi yang mendorong sebuah bola hingga mencapai kecepatan maksimum terjadi saat bola berada pada titik terendah lintasan (Setyaningrum dkk., 2023). Menggunakan Hukum Energi Kinetik dan Potensial, kita analisis bagaimana sebuah bola dengan massa ( $m$ ) jatuh dari ketinggian ( $h$ ) dengan kecepatan awal ( $v_0$ ) dan dipengaruhi oleh gravitasi bumi ( $g$ ). Energi pada posisi awal ( $E_{awal}$ ) terdiri dari energi kinetik ( $KE$ ) dan energi potensial gravitasi ( $PE$ ) yang dapat diuraikan sebagai  $E_{awal} = \frac{1}{2} m v_0^2 + mgh$ . Ketika bola mencapai titik terendah, energi potensial gravitasi berubah menjadi energi kinetik, sehingga ( $PE_{terendah} = 0$ ) dan ( $KE_{terendah} = \frac{1}{2} m v_{max}^2$ ) dengan ( $v_{max}$ ) adalah kecepatan maksimum bola. Dalam keseimbangan energi, kita samakan energi awal dan di titik terendah, menghasilkan ( $v_{max}^2 = v_0^2 + 2gh$ ), menunjukkan kecepatan maksimum terjadi saat bola berada di titik terendah ( $h = 0$ ).



**Gambar 13.** Stickman menggunakan tali yang terikat pada pohon, bola besar, dan prinsip fisika torsi untuk menetapel dirinya dan meluncur ke roket di atasnya (Sumber: Animation vs. Physics, 2023)

Dalam sebuah percobaan yang melibatkan Stickman, energi kinetiknya saat berlari diukur dengan rumus  $KE = 1/2 mv^2$ , di mana (m) adalah massa dan (v) adalah kecepatan (Mesquita dkk., 2023). Ketika Stickman menarik tali yang terhubung dengan bola besar, gaya yang dihasilkan oleh tali membuatnya bergerak, mengikuti hukum aksi dan reaksi Newton. Untuk mencapai titik yang sama dengan bola besar, perbandingan energi kinetik Stickman dan bola besar harus dipertimbangkan; Stickman harus menggunakan energi kinetik lebih besar untuk mengatasi gesekan dengan lantai yang licin. Dengan energi yang lebih besar pada percobaan kedua, Stickman berhasil mencapai titik yang sama dengan bola besar.

Torsi ( $\tau$ ), hasil dari perkalian gaya (F) dengan jarak dari sumbu rotasi (r), dimainkan oleh Stickman menggunakan bola besar sebagai pengungkit. Ini menghasilkan aksi dan reaksi di mana torsi yang dihasilkan oleh penarikan bola besar memberikan gaya yang sama (namun arah yang berlawanan) pada Stickman dan ranting pohon.

Momentum angular (L), yang merupakan hasil dari perkalian inerti (I) dengan kecepatan sudut ( $\omega$ ), terbentuk saat bola besar bergerak dalam lintasan melingkar, yang dipicu oleh torsi dari Stickman (Dzielski & Blackburn, 2022). Saat bola besar bergerak, momentum linear ( $p = m \times v$ ) nya meningkat seiring dengan kecepatannya. Ketika bola besar meluncur ke bawah, ia memberikan dorongan pada Stickman, mengubah momentum Stickman untuk mendorongnya ke atas.

Prinsip kekekalan momentum menerangkan bagaimana momentum yang diberikan oleh bola besar pada Stickman membantu mendorongnya ke atas, memungkinkannya naik ke roket. Konsep ini menunjukkan bagaimana interaksi antara bola besar dan Stickman mempertahankan keseimbangan momentum.

## Pembahasan

Penelitian ini mendalami tentang penerapan konsep fisika dalam dunia animasi, memperlihatkan bahwa animasi memiliki keunggulan untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip fisika ke dalam konteks visual, memberikan ruang bagi pembuat animasi untuk menciptakan realisme atau ketidakrealistikan sesuai dengan tujuan kreatif mereka. Diskusi yang dilakukan dengan cermat

mengeksplorasi tingkat akurasi representasi fisika dalam animasi tersebut, serta sejauh mana animasi dapat mematuhi atau melanggar hukum fisika yang ada, memberikan pemahaman mendalam terhadap hubungan dinamis antara seni visual dan prinsip-prinsip ilmu pengetahuan fisika.

Penelitian ini menyoroti potensi animasi sebagai alat pembelajaran yang menarik untuk mendidik berbagai jenis audiens tentang konsep-konsep fisika. Fokus pada pembahasan tersebut mencerminkan bagaimana konten animasi dapat dirancang secara efektif untuk memfasilitasi pemahaman mendalam terhadap konsep-konsep fisika yang kompleks, membawa pendidikan fisika ke tingkat yang lebih menyenangkan dan berinteraksi dengan khalayak lebih luas.

Penelitian ini mengusung ide integrasi antara seni animasi dan ilmu pengetahuan fisika dalam kerangka penelitian lintas disiplin. Diskusi yang disajikan secara mendalam mengeksplorasi bagaimana animasi dan simulasi fisika dapat menjadi bagian integral dari penelitian interdisipliner, menciptakan ruang untuk inovasi dan eksperimen yang menggabungkan keahlian seni dengan metode ilmiah.

Dalam konteks kreativitas versus keterikatan fisika, penelitian ini mengajukan pertanyaan krusial tentang bagaimana animator dapat menjaga keseimbangan antara ekspresi artistik yang bebas dan kepatuhan terhadap prinsip-prinsip fisika yang relevan. Pemahaman yang mendalam tentang batas antara kebebasan artistik dalam animasi dengan keterikatan terhadap hukum fisika menjadi sentral dalam diskusi ini, membawa dimensi filosofis terkait penciptaan visual yang menggabungkan seni dan sains.

Penelitian ini menyoroti potensi inspiratif dari animasi terhadap riset ilmiah dalam bidang fisika. Diskusi yang dilakukan merinci bagaimana animasi dapat menjadi sumber inspirasi bagi pemikiran kreatif dan eksperimental dalam penelitian fisika lebih lanjut, membuka pintu bagi kemungkinan menggabungkan elemen-elemen visual dengan metode penelitian ilmiah untuk mencapai pemahaman yang lebih mendalam.

## **SIMPULAN**

Kesimpulan dari penelitian eksperimental ini menggambarkan pendekatan fisika klasik terhadap animasi "Animation vs. Physics" karya Alan Becker. Melalui analisis mendalam terhadap gerakan Stickman dan interaksinya dengan lingkungan sekitarnya, beberapa konsep fisika utama seperti perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, momentum, torsi, energi kinetik, energi potensial, dan prinsip-prinsip kekekalan momentum telah diterapkan. Dalam penelitian ini, pendekatan fisika klasik digunakan untuk menjelaskan fenomena gerakan Stickman dan objek di sekitarnya. Pendekatan ini mencakup pengamatan animasi, penerapan konsep fisika dalam konteks gerakan Stickman, analisis kinematika dan dinamika, penggunaan konsep momentum dan torsi, hukum kekekalan energi, eksplorasi hukum kekekalan momentum sudut, evaluasi hambatan dan gesekan, serta simulasi dan pengujian konsep.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan penerapan berbagai rumus fisika dalam analisis gerakan Stickman, mulai dari GLB (gerak lurus beraturan) untuk menggambarkan perpindahan, hingga persamaan kinematika dan dinamika Newtonian untuk menghitung kecepatan, percepatan, dan gaya yang bekerja. Selain itu, konsep energi kinetik, energi potensial, usaha, dan daya digunakan untuk menjelaskan perubahan energi dalam situasi seperti tumbukan elastis dan penggunaan energi untuk memindahkan benda. Penerapan hukum kekekalan momentum



dan kekekalan energi memungkinkan peneliti untuk menjelaskan fenomena seperti transfer energi antara Stickman dan bola besar, serta bagaimana interaksi antara keduanya memengaruhi gerakan masing-masing.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terkami sampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada seluruh kontributor yang telah memberikan wawasan, pengalaman, serta dedikasi mereka dalam penelitian ini, mendukung pemahaman mendalam tentang aplikasi fisika klasik dalam animasi, yang telah menjadi landasan bagi pengembangan karya ini.

## Kontribusi Penulis

Ruben Cornelius Siagian Bertanggung jawab atas perencanaan dan pengembangan penelitian. Mengorganisir dan mengkoordinasikan proses penulisan serta analisis data. Berperan dalam menggambarkan dan menganalisis gerakan Stickman dalam konteks fisika klasik. Arip Nurahman, S.Pd., M.Pd Memberikan wawasan dan keahlian dalam fisika klasik serta memberikan pandangan teoretis terkait konsep-konsep fisika yang diterapkan dalam analisis animasi. Berperan dalam merumuskan konsep fisika, terutama dalam pengaplikasiannya terhadap gerakan Stickman. Goldberd Harmuda Duva Sinaga, M.Si., S.Si Berkontribusi dalam analisis kinematika, dinamika, dan penggunaan konsep momentum serta torsi dalam konteks gerakan Stickman. Menginterpretasikan hasil penelitian terutama dalam hubungan antara hukum kekekalan momentum dan energi kinetik. Dr. Reza Ariefka., M.Si Memberikan pandangan dan pengalaman sebagai ahli dalam fisika terapan serta penerapan konsep fisika dalam simulasi dan model fisik. Berperan dalam menganalisis dan mengevaluasi data serta memastikan kesesuaian konsep fisika dalam aplikasi animasi yang dijadikan studi kasus. STIT Muhammadiyah Kota Banjar, Indonesia Berpartisipasi dalam melakukan pengumpulan data dan analisis terhadap konsep-konsep fisika yang diterapkan dalam kasus studi animasi. Memberikan kontribusi dalam penulisan dan interpretasi hasil penelitian, terutama dalam eksplorasi hukum kekekalan momentum sudut dalam konteks animasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dzielski, J., & Blackburn, M. (2022). Aerodynamic-Torque Induced Motions of a Spinning Football and Why the Ball's Longitudinal Axis Rotates with the Linear Velocity Vector. *Dynamics*, 2(1), 27–39.
- Galili, I. (2022). Scientific Knowledge as a Culture: A Paradigm of Knowledge Representation for the Meaningful Teaching and Learning of Science. *Scientific Knowledge as a Culture: The Pleasure of Understanding*, 245–275.
- 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.
- Mesquita, R. M., Catavittello, G., Willems, P. A., & Dewolf, A. H. (2023). Modification of the locomotor pattern when deviating from the characteristic heel-to-toe rolling pattern during walking. *European Journal of Applied Physiology*, 1–13.
- Setyaningrum, S., Setyaningrum, V., Novia, N., Nurmatin, S., Candra, A. D., Mirnawati, M., Azizah, N., Maitimu, C. V., Hadinugraha, S., & Darwis, R. (2023). *ILMU ALAMIAH DASAR: Prinsip-Prinsip Dasar & Fenomena Alam*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

