Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (2) 2025, Page: 16742-16748

Analisis Akurasi Video Tracker untuk Verifikasi Hukum Kekekalan Momentum pada Tumbukan Oblique Dua Dimensi

Sri Aningsih[1], Shofia Ummi[2], Howard Situmorang[3], Solikin[4], Riska Romayani Dalimunthe[5], Nanda Akti Lamretta[6]

[1,3]Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,
[2,4,5,6] Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan
Corresponding Author: Sri Aningsih, e-mail: srianingsih@unimed.ac.id

Published: July , 2025

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi dalam bidang fisika dapat menyediakan metode yang lebih interaktif untuk memahami konsep-konsep yang kompleks, seperti Hukum Kekekalan Momentum pada tumbukan oblique (miring) dua dimensi (2D). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketepatan video tracker dalam mengukur vektor kecepatan objek yang identik pada komponen x dan y sebelum serta setelah tumbukan oblique 2D, sekaligus memverifikasi Hukum Kekekalan Momentum secara kuantitatif melalui analisis komponen momentum total dan perhitungan persentase deviasi terhadap nilai teoritis. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan desain laboratorium virtual berbasis analisis video. Data dikumpulkan melalui rekaman video tumbukan dua dimensi yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan perangkat lunak Tracker. Tahapan analisis meliputi impor video, pengamatan gerak, perhitungan momentum, dan validasi hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa momentum total sebelum tumbukan pada video 1 dan 2 masing-masing adalah 1,19 kg.m/s dan 0,138 kg.m/s, sedangkan setelah tumbukan nilai momentum tercatat sebesar 1,08 kg.m/s dan 0,125 kg.m/s. Perbedaan ini menghasilkan persentase kesalahan sebesar 9% dan 10%. Deviasi tersebut mengindikasikan adanya kehilangan momentum kecil atau keterbatasan akurasi sistem pelacakan. Faktor penyebab error meliputi gesekan antara benda dengan permukaan, keterbatasan resolusi video dan frame rate yang memengaruhi ketepatan pelacakan, kesulitan dalam menentukan titik pusat massa, serta ketidakakuratan kalibrasi skala pada perangkat Tracker. Meskipun demikian, persentase kesalahan tersebut masih berada pada batas yang dapat diterima untuk eksperimen fisika pada kondisi non-ideal, sehingga tracker terbukti sebagai alat yang efektif untuk analisis gerak.

Kata Kunci: Video *Tracker*, Tumbukan *Oblique 2D*, Hukum Kekekalan Momentum, Analisis Gerak, Akurasi

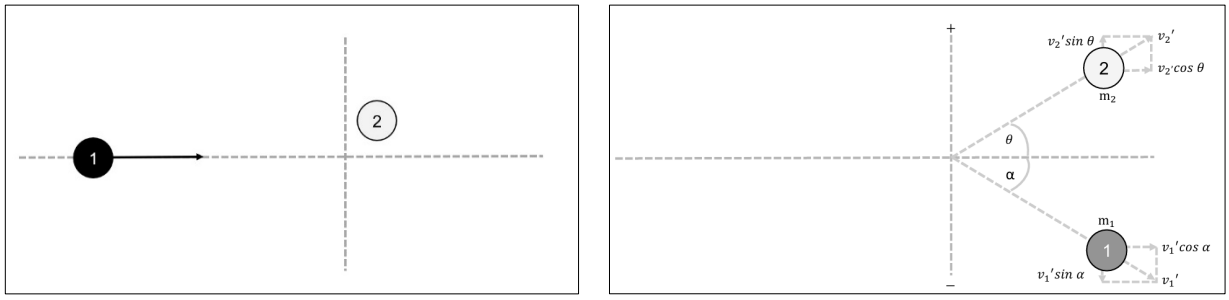
© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Integrasi teknologi dalam pendidikan modern telah membawa transformasi signifikan terhadap pendekatan pembelajaran. Penerapan teknologi dalam pembelajaran fisika telah mengubah cara pengajaran dan pengalaman belajar, menghadirkan metode yang lebih interaktif untuk memahami konsep-konsep rumit yang seringkali sulit dijelaskan secara optimal melalui pendekatan konvensional (Faresta et al., 2024). Transformasi ini tidak terkecuali dalam ranah eksperimen ilmiah. Penggunaan perangkat laboratorium berbasis teknologi memungkinkan pengujian prinsip-prinsip dasar fisika dengan presisi yang lebih tinggi serta memberikan kemampuan visualisasi fenomena yang lebih mendalam dibandingkan metode pengukuran manual konvensional. Studi terbaru menegaskan bahwa pemanfaatan simulasi, realitas virtual, dan perangkat lunak interaktif secara signifikan meningkatkan pemahaman dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran fisika, meskipun masih terdapat tantangan terkait pelatihan guru dan akses teknologi yang merata (Adimayuda et al., 2021; Hasas et al., 2024; Shintya et al., 2025).

Inovasi penggunaan teknologi dalam bidang fisika memberikan peran dalam memfasilitasi validasi empiris dan analisis data observasional untuk membentuk pemahaman konseptual. Salah satu prinsip konservasi utama dalam mekanika klasik yang menuntut penguasaan konsep secara komprehensif yaitu Hukum Kekekalan Momentum. Prinsip Hukum Kekekalan Momentum menyatakan bahwa jumlah momentum keseluruhan dalam sistem yang terisolasi akan selalu konstan jika tidak ada interaksi dengan gaya eksternal (Zega & Lase, 2024). Meskipun penerapan hukum ini telah diuji validitasnya dan banyak dibuktikan pada pada sistem satu dimensi seperti yang telah dilakukan oleh Utari & Prima (2019), namun verifikasi eksperimental pada kasus yang lebih rumit seperti tumbukan *oblique* (miring) dua dimensi (2D) memerlukan metodologi yang lebih kompleks.

Tumbukan *oblique* 2D melibatkan perubahan vektor kecepatan pada dua sumbu secara simultan, sehingga membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi terhadap pengukuran posisi dan kecepatan . Tumbukan jenis ini terjadi pada sebuah benda yang sedang bergerak dan menumbuk benda yang diam. Keadaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



(a) (b)

Gambar 1. (a) Kondisi benda sebelum tumbukan (b) Kondisi benda setelah tumbukan *oblique*

Benda yang mengalami tumbukan 2D akan terhambur menuju sumbu *x* dan sumbu *y* sehingga membentuk sudut tertentu dan berlaku hukum kekekalan momentum. Hukum kekekalan momentum dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Ogura, 2018):

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad \text{(1)}$$

Jika ditinjau dari sumbu *x,* maka :

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v_{1x}' + m_2 v_{2x}' \quad \text{(2)}$$

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v_1' \cos\alpha + m_2 v_2' \cos\theta \quad \text{(3)}$$

Sedangkan jika ditinjau dari sumbu *y,* maka :

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v_{1y}' + m_2 v_{2y}' \quad \text{(4)}$$

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v_1' \sin\alpha + m_2 v_2' \sin\theta \quad \text{(5)}$$

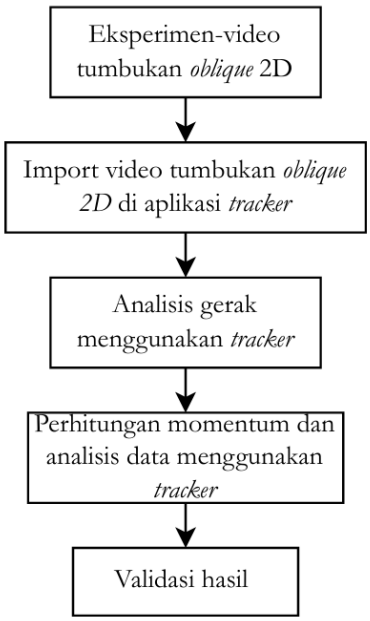
Dengan m_1 dan m_2 adalah massa benda yang mengalami tumbukan, v_{1x} dan v_{2x} merupakan kecepatan benda 1 dan benda 2 sebelum tumbukan pada arah sumbu *x*, dan v_{1y} serta v_{2y} merupakan kecepatan benda 1 dan benda 2 sebelum tumbukan pada arah sumbu *y*. Sedangkan kondisi kecepatan kedua benda setelah tumbukan pada sumbu *x* dan *y* secara berturut-turut yaitu v_{1x}', v_{2x}', v_{1y}' dan v_{2y}'. Berdasarkan persamaan (1) dan (3), Hukum Kekekalan Momentum pada benda yang bergerak *oblique* 2D diperlukan analisis lebih kompleks dengan meninjau gerak benda berdasarkan sudut yang dibentuk setelah terjadi tumbukan.

Instrumen pengukuran konvensional memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika gerak yang berlangsung sangat cepat dan melibatkan banyak dimensi, sehingga hal ini menjadi hambatan utama dalam melakukan analisis terhadap tumbukan *oblique* (Burko, 2019). Dalam upaya mengatasi permasalahan yang telah ditemukan tersebut, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan perangkat lunak *tracker* untuk analisis gerak tumbukan *oblique* dua dimensi berbasis video, serta untuk menguji kebenaran Hukum Kekekalan Momentum pada kasus tersebut.

Tracker adalah sebuah perangkat lunak analisis video dan pemodelan yang dikembangkan dengan basis kerangka kerja Java. Aplikasi tersebut menyediakan metode yang efektif dan inovatif untuk mengintegrasikan video dengan model komputer secara simultan (Handayani et al., 2022). Secara sederhana, *tracker* memiliki kemampuan untuk melakukan *track* (pelacakan) pada gerak suatu objek sehingga dapat diperoleh berbagai informasi yang dibutuhkan dalam analisis pada suatu peristiwa gerak (Handayani et al., 2022). Proses pelacakan gerak benda sehingga dapat dianalisis secara akurat juga dipengaruhi oleh kualitas kamera. Kamera dengan *frame rate* berkecepatan 50 fps terbukti dapat memberikan akurasi lebih baik dalam penentuan pusat massa benda yang dianalisis geraknya (Wantoro et al., 2016).
Berdasarkan justifikasi metodologis yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi penggunaan video tracker dalam mengukur vektor kecepatan objek, baik pada komponen x maupun y, sebelum dan setelah terjadinya tumbukan *oblique* dua dimensi. Selain itu, penelitian ini juga berupaya secara kuantitatif memverifikasi hukum kekekalan momentum linear dengan menganalisis komponen momentum total pada skenario tumbukan oblique 2D, dengan menghitung persentase deviasi hasil pengukuran dari nilai teoritis yang ideal.

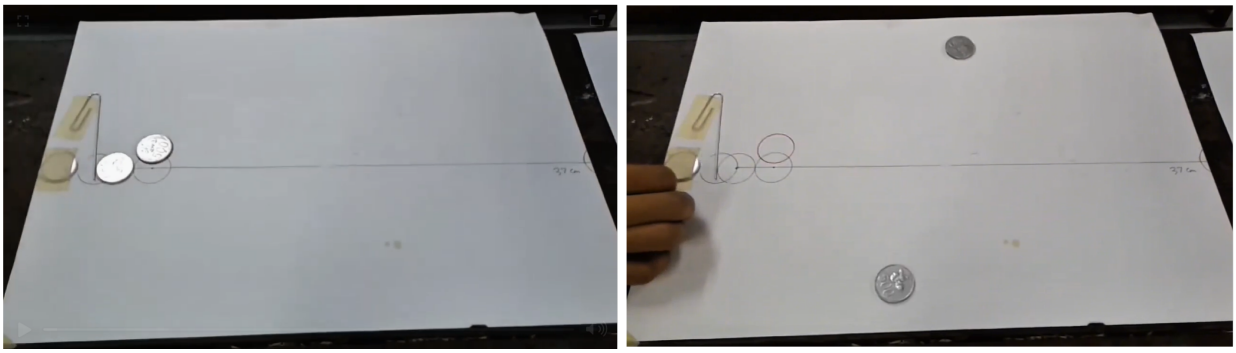
METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan eksperimental dengan desain eksperimen laboratorium virtual berbasis video analisis untuk mengevaluasi penerapan hukum kekekalan momentum atau konservasi momentum pada tumbukan *oblique* dua dimensi. Data diperoleh melalui perekaman video peristiwa tumbukan 2D yang kemudian diolah dan dianalisis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak *tracker*. Aplikasi perangkat lunak *tracker* memungkinkan pengukuran dengan presisi tinggi terhadap kecepatan objek sebelum dan sesudah tumbukan, serta perhitungan momentum linier untuk menguji validitas prinsip hukum kekekalan momentum. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



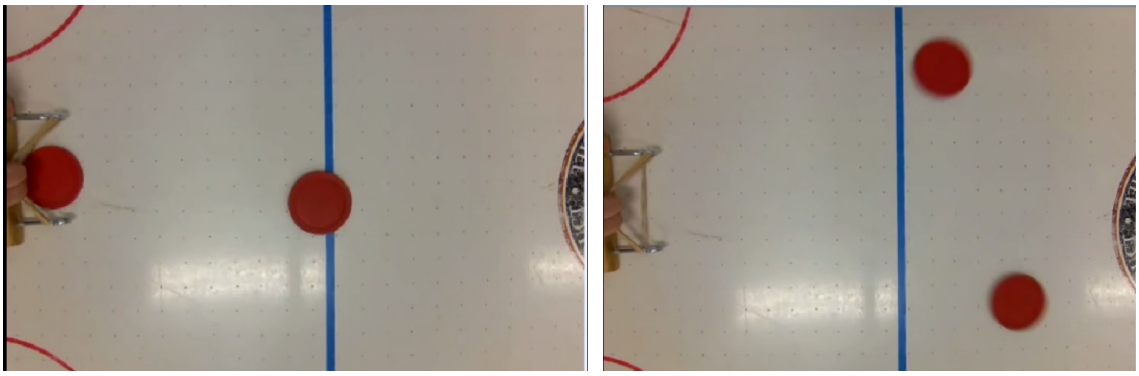
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Eksperimen video yang merupakan sumber data penelitian diperoleh dari video *youtube* percobaan tumbukan *oblique* 2D yang dapat diakses di link https://www.youtube.com/watch?v=x0uk D2Lc7G4 dan https://www.youtube.com/watch?v=QkCAxc_9VB4&t=193s (Anderson, 2014; Widiatmoko, 2020). Benda yang digunakan untuk simulasi tumbukan *oblique* 2D merupakan koin identik dengan massa yang sama. Pada eksperimen ini, terdiri dari 2 data video yang di analisis tumbukannya.



(a) (b)

Gambar 3. Video 1 (a) Koin sebelum tumbukan (b) Koin setelah tumbukan



Gambar 4. Video 2 (a) Koin sebelum tumbukan (b) Koin setelah tumbukan

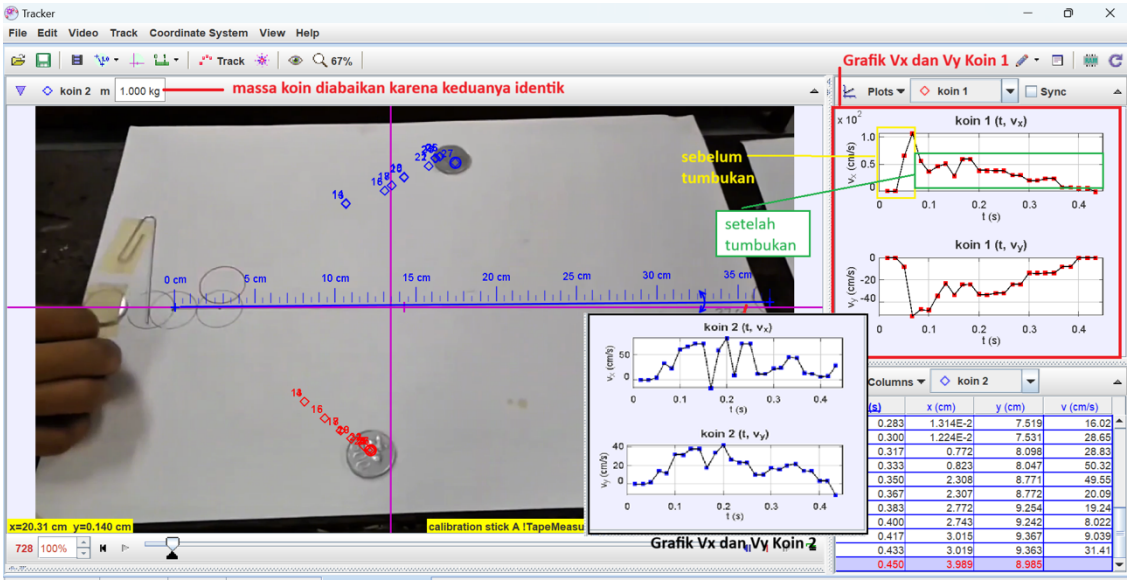
Selanjutnya, dilakukan analisis data dengan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Teknik analisis data ini dilakukan dengan mengaitkan fenomena berdasarkan angka yang dapat menggambarkan akurasi hasil percobaan tumbukan *oblique* 2D. Analisis percobaan Hukum Kekekalan Momentum menggunakan *tracker* digunakan untuk memperoleh hubungan antar variabel yang diperoleh sehingga dapat dibandingkan dengan teori untuk mengetahui tingkat akurasi penggunaan *software tracker* dalam memverifikasi Hukum Kekekalan Momentum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi video *tracker* dalam menganalisis Hukum Kekekalan Momentum. Analisis Hukum Kekekalan Momentum pada percobaan tumbukan *oblique* 2D dilakukan dengan menentukan kecepatan sebelum dan sesudah tumbukan pada arah sumbu *x* dan sumbu *y*. Proses analisis video 1 pada aplikasi *tracker* dapat dilihat pada Gambar 5. Analisis ini difokuskan pada pengujian kinerja video *tracker* dalam mengkarakterisasi dinamika tumbukan *oblique* 2D antara dua koin identik. Dengan memanfaatkan rekaman video percobaan, perangkat lunak pelacakan digunakan untuk mengekstrak data posisi setiap waktu dari setiap koin sebelum dan sesudah tumbukan. Data posisi ini kemudian diolah untuk mendapatkan komponen kecepatan koin pada sumbu *x* dan *y* setelah interaksi. Hasil analisis data secara komprehensif pada Tabel 1 di bawah ini menyajikan data kecepatan dan hasil akurasi Hukum Kekekalan Momentum untuk percobaan pada video 1.

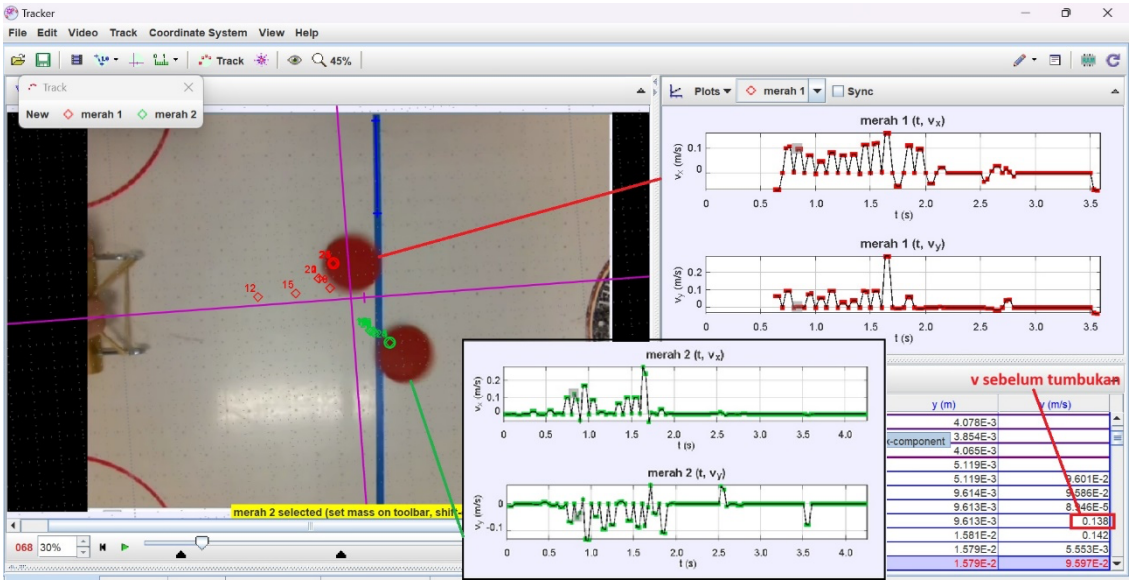
Table 1. Analisis data dan persentase *error* percobaan Hukum Kekekalan Momentum pada video 1

Benda	Sebelum Tumbukan	Sesudah Tumbukan			Momentum tumbukan 2D		%Error
	v (m/s)	v_x (m/s)	v_y (m/s)	v (m/s)	Sebelum P(kg.m/s)	Sesudah P(kg.m/s)	
Koin 1	1.19	0.55	0.46	0.72	1.19	1.08	9%
Koin 2	0	0.34	0.14	0.36			



Gambar 5. Hasil analisis video *tracker* untuk percobaan pada video 1

Untuk memverifikasi Hukum Kekekalan Momentum, analisis juga dilakukan pada percobaan video 2 dengan memperpanjang lintasan sebelum tumbukan dan bidang tumbukan yang berbeda, namun tetap menggunakan benda dengan massa identik. Proses analisis pengolahan data gerak dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil analisis video *tracker* untuk percobaan pada video 2

Akurasi analisis Hukum Kekekalan Momentum yang diperoleh dari tumbukan oblique 2D pada video 2 direpresentasikan dalam Tabel 2.

Table 1. Analisis data dan persentase *error* percobaan Hukum Kekekalan Momentum pada video 2

Benda	Sebelum Tumbukan	Sesudah Tumbukan			Momentum tumbukan 2D		%Error
	v (m/s)	v_x (m/s)	v_y (m/s)	v (m/s)	Sebelum P(kg.m/s)	Sesudah P(kg.m/s)	
Merah 1	0.138	0.0055	0.0989	0.006	0.138	0.125	10%
Merah 2	0	0.0004	0.0666	0.119			

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2, analisis momentum sistem menunjukkan bahwa momentum total sebelum tumbukan adalah 1.19 kg.m/s dan 0.138 kg.m/s sementara momentum total setelah tumbukan dari percobaaan video 1 dan video 2 tercatat sebesar 1.08 kg.m/s dan 0.125 kg.m/s. Perbedaan antara kedua nilai ini menghasilkan persentase *error* sebesar 9% dan 10%. Hasil ini mengindikasikan bahwa meskipun hukum kekekalan momentum linear seharusnya berlaku dalam sistem terisolasi, terdapat sedikit deviasi dalam data eksperimen yang diperoleh dari video *tracker*.

Persentase *error* 9% dan 10% menunjukkan bahwa sebagian kecil momentum hilang atau tidak terdeteksi secara sempurna oleh sistem pelacakan. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan adanya persentase *error* tersebut diantaranya adalah adanya gesekan kecil antara benda dengan permukaan bidang tumbukan, akurasi pelacakan, identifikasi titip pusat massa benda yang mengalami tumbukan dan kalibrasi sistem. Gesekan kecil yang terjadi pada proses tumbukan ini dapat menyebabkan hilangnya sebagian energi kinetik dan momentum dari sistem (Ramdhan et al., 2025). Meskipun tumbukan dianggap ideal dalam teori, dalam praktik selalu ada interaksi dengan lingkungan. Selanjutnya keterbatasan resolusi video, *frame rate* atau algoritma pelacakan juga dapat menyebabkan ketidakakuratan kecil dalam penentuan posisi koin pada setiap *frame*. Ketidakakuratan posisi ini akan terakumulasi dan memengaruhi perhitungan kecepatan, sehingga berdampak pada nilai momentum. Selain itu, kesulitan secara konsisten untuk mengidentifikasi titik pusat massa benda secara presisi dapat menyebabkan kesalahan data posisi. Hal krusial selanjutnya yang menjadi pemicu persentase error yang dihasilkan dalam analisis akurasi percobaan video *tracker* adalah kalibrasi skala video *tracker* yang tidak pressisi sehingga mempengaruhi semua pengukuran jarak dan kecepatan secara proporsional.

Meskipun terdapat persentase *error* sebesar 9% dan 10% pada percobaan video 1 dan video 2, hasil ini masih memberikan gambaran yang cukup baik mengenai dinamika tumbukan. Persentase *erorr* ini berada dalam rentang yang dapat diterima untuk eksperimen fisika di lingkungan non-ideal, dan menunjukkan bahwa video *tracker* adalah alat yang efektif untuk menganalisis gerak, meskipun dengan batasan akurasi tertentu. Upaya lebih lanjut dapat mencakup penggunaan kamera berkecepatan tinggi dengan resolusi lebih tinggi, teknik kalibrasi yang lebih canggih dan perlunya melakukan percobaan berulang untuk meminimalisir adanya kesalahan data di penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengindikasikan bahwa video tracker merupakan instrumen yang cukup akurat dalam menganalisis dinamika tumbukan *oblique* 2D sekaligus memverifikasi Hukum Kekekalan Momentum, meskipun terdapat deviasi yang dapat diukur. Persentase *error* sebesar 9% dan 10% pada percobaan video 1 dan video 2 mengisyaratkan adanya kehilangan momentum atau ketidakakuratan dalam proses pendeteksian. Faktor-faktor penyebab adanya deviasi tersebut meliputi faktor gesekan ringan antara benda dan permukaan tumbukan, keterbatasan akurasi pelacakan yang dipengaruhi oleh resolusi video, *frame rate*, algoritma pelacakan, kesulitan dalam menentukan titik pusat massa secara presisi, dan ketidaktepatan kalibrasi skala pada perangkat video *tracker*. Namun, nilai kesalahan yang diamati masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk eksperimen fisika dalam kondisi non-ideal. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penggunaan kamera dengan kecepatan tinggi dan resolusi yang lebih tinggi, penerapan metode kalibrasi yang lebih canggih, serta pelaksanaan percobaan berulang untuk meminimalkan kesalahan data dan meningkatkan akurasi analisis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Terutama, kami mengucapkan terima kasih kepada para editor *Journal of Innovative and Creativity* yang telah meluangkan waktu dan memberikan masukan berharga, sehingga naskah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

Adimayuda, R., Sari, L., Ismail, A., Amalia, I. F., Gumilar, S., & Samsudin, A. (2021). Assessing two-dimensional collisions second-years students using PhET simulations on momentum and impulse concept. *Journal of Physics: Conference Series*, *1869*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012204

Anderson, P. (2014). *Tracker 2D Collision*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=QkCAxc_9VB4&t=193s

Burko, L. M. (2019). Two-Dimensional Collisions and Conservation of Momentum. *The Physics Teacher*, *57*(7), 487–489. https://doi.org/10.1119/1.5126832

Faresta, R. A., Zhao Ser, T., Nicholas, B., Chi, Y., Astri, I., Sinambela, N., & Mopoliu, A. Z. (2024). Utilization of Technology in Physics Education: A Literature Review and Implications for the. *Future Physics Learning. Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, *12*(1), 1–27. https://doi.org/10.33394/j

Handayani, I. D., Ahmad, F., & Aryati P.L, D. (2022). Efektivitas Tracker Video Analysis Dalam Praktikum Fisika Untuk Menentukan Percepatan Gravitasi. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, *8*(2), 328. https://doi.org/10.31764/orbita.v8i2.10766

Hasas, A., Enayat, W., Hakimi, M., & Ahmady, E. (2024). A Comprehensive Review Of ICT Integration In Enhancing Physics Education. *MAGNETON: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, *2*(1), 36–44. https://doi.org/10.30822/magneton.v2i1.3106

Ogura, A. (2018). Diagrammatic Approach for Investigating Two Dimensional Elastic Collisions in Momentum Space I: Newtonian Mechanics. *World Journal of Mechanics*, *08*(09), 343–352. https://doi.org/10.4236/wjm.2018.89025

Ramdhan, F., Yus'an, A. F., & Setiaji, B. (2025). Analisis Tumbukan Fisika pada Tabrakan Mobil Menggunakan Software BeamNG.drive. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *13*(01), 67–76. https://doi.org/10.23960/jtaf.v13i01.420

Shintya, R. E., Irsalina, F. R., Muki, B. G., Putra, I. H., Ramadani, S., Fauzan, A. S., Zain, A. Z., Entang, E., Fauzan, M. R., & Nurlita, A. D. (2025). Empowering physics educators through technology-based teaching material workshops: A teachers' perspective. *Journal of Community Service and Empowerment*, *6*(1), 175–185. https://doi.org/10.22219/jcse.v6i1.39637

Utari, S., & Prima, E. C. (2019). Analisis Hukum Kekekalan Momentum Model Tumbukan Kelereng dengan Gantungan Ganda menggunakan Analisis Video Tracker. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, *5*(2), 83. https://doi.org/10.25273/jpfk.v5i2.4145

Wantoro, K., Sudjito, D. N., & Rondonuwu, F. S. (2016). Pemanfaatan Kamera Smartphone Dan Eyetracking Analysis Pada Percobaan Kinematika Di Atas Landasan Udara Dua Dimensi. *Upej*, *5*(1). http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upej

Widiatmoko, E. (2020). *Tumbukan dan Hukum Kekekalan Momentum pada 1 dan 2 Dimensi*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=x0ukD2Lc7G4

Zega, T. H. B., & Lase, S. S. K. (2024). Analisis Prinsip Konservasi Momentum Dalam Tabrakan Listrik dan Tidak Elastis. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan Dan Teknik*, *1*(3), 7–12. https://doi.org/10.70134/identik.v1i3.51