

Analisis Tumbukan Fisika pada Tabrakan Mobil Menggunakan Software BeamNG.drive

Fachri Ramdhan^{(1,a)*}, Ahmad Faizal Yus'an^(1,b) dan Bayu Setiaji^(1,c)

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 55281

Email : ^(a*)fachriramdhan.2023@student.uny.ac.id, ^(b)ahmadfaizal.2023@student.uny.ac.id,

^(c)bayu.setiaji@uny.ac.id

Diterima (20 Juni 2024), Direvisi (08 November 2024)

Abstract. This study aims to examine the phenomenon of collision between two vehicles by observing the changes in momentum, kinetic energy, and vehicle deformation as a response to the collision, as well as evaluating the accuracy of the simulation using BeamNG.drive software by comparing it to the applicable physical theories in collisions. The research method used is experimental by conducting collision simulations using BeamNG.drive software. The initial velocity variations of the colliding vehicle (car A) are set at 50, 75, and 100 km/h, while the struck vehicle (car B) is in a stationary condition. The analysis is carried out by calculating the conservation of momentum, kinetic energy, and the coefficient of restitution of the collision. The results show that the initial and final momentum values of the system are almost the same, in accordance with the principle of conservation of momentum. However, there is a significant decrease in kinetic energy values, indicating an inelastic collision where kinetic energy is transformed into deformation energy. The very low coefficient of restitution values (approaching 0) also confirm the nature of the inelastic collision. The simulation results using BeamNG.drive are consistent with the relevant physical theories on collisions, demonstrating the accuracy of the software in modeling vehicle collision phenomena.

Keywords: collision, momentum conservation, kinetic energy, coefficient of restitution, Beam.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji fenomena tumbukan pada dua kendaraan dengan memperhatikan perubahan momentum, energi kinetik, dan deformasi kendaraan sebagai respons terhadap tumbukan, serta mengevaluasi keakuratan simulasi menggunakan software BeamNG.drive dengan membandingkannya terhadap teori-teori fisis yang berlaku dalam tumbukan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan simulasi tabrakan menggunakan software BeamNG.drive. Variasi kecepatan awal kendaraan yang menabrak (mobil A) diatur pada 50, 75, dan 100 km/h, sementara kendaraan yang ditabrak (mobil B) dalam keadaan diam. Analisis dilakukan dengan menghitung kekekalan momentum, energi kinetik, dan koefisien restitusi tumbukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai momentum awal dan akhir sistem hampir sama, sesuai dengan prinsip kekekalan momentum. Namun, terjadi penurunan nilai energi kinetik yang signifikan, mengindikasikan tumbukan tidak elastis di mana energi kinetik berubah menjadi energi deformasi. Nilai koefisien restitusi yang sangat rendah (mendekati 0) juga mengonfirmasi sifat tumbukan tidak elastis. Hasil simulasi menggunakan BeamNG.drive sesuai dengan teori-teori fisis terkait tumbukan, menunjukkan keakuratan software tersebut dalam memodelkan fenomena tabrakan kendaraan.

Kata kunci: tumbukan, kekekalan momentum, energi kinetik, koefisien restitusi, BeamNG.drive

PENDAHULUAN

Hukum momentum tumbukan adalah salah satu prinsip dasar dalam fisika yang menggambarkan perubahan momentum yang terjadi saat dua benda saling bertumbukan. Momentum adalah besaran vektor yang didefinisikan sebagai hasil kali antara massa suatu benda (m) dan kecepatannya (v) [1]. Momentum sebuah benda dapat dihitung dengan **persamaan 1**.

$$P = mv \quad (1)$$

Di mana P adalah momentum, m adalah massa benda, dan v adalah kecepatan benda [2].

Ketika dua benda bertumbukan, hukum momentum tumbukan menyatakan bahwa, nilai momentum (p) sebelum tumbukan sama dengan momentum setelah tumbukan secara matematis ditulis **persamaan 2**.

$$\Sigma \vec{P}_{awal} = \Sigma \vec{P}_{akhir} \quad (2)$$

Asalkan tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem benda tersebut. Dalam kata lain, momentum total sistem adalah kekal (tidak berubah) selama tumbukan, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja [3].

Energi kinetik adalah salah satu bentuk energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya. Setiap benda yang bergerak memiliki energi kinetik, yang besarnya bergantung pada massa dan kecepatan benda tersebut [4]. Secara matematis, energi kinetik (Ek) dapat dinyatakan dalam **persamaan 3**.

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Dimana Ek adalah energi kinetik dalam joule (J), m adalah massa benda dalam kilogram (kg), v adalah kecepatan benda dalam meter per detik (m/s).

Energi kinetik merupakan besaran skalar, yang berarti hanya memiliki nilai dan tidak memiliki arah. Konsep energi kinetik sangat penting dalam memahami berbagai fenomena fisika, termasuk tumbukan antara benda-benda. Dalam konteks tumbukan, energi kinetik total dari sistem sebelum dan sesudah tumbukan digunakan untuk menentukan jenis tumbukan yang terjadi (elastis atau tidak elastis) dan untuk menganalisis perubahan energi yang terjadi selama proses tumbukan [5].

Tumbukan elastis adalah tumbukan di mana energi kinetik total dari sistem kekal sebelum dan sesudah tumbukan, sementara dalam tumbukan tidak elastis, sebagian energi kinetik hilang dan diubah menjadi energi deformasi, panas, dan energi lain [6]. Oleh karena itu, pengukuran dan analisis energi kinetik sangat penting dalam studi tentang tumbukan dan perilaku dinamis benda.

Koefisien restitusi tumbukan adalah suatu bilangan yang digunakan untuk mengukur tingkat elastisitas suatu tumbukan antara dua benda [7]. Nilai koefisien restitusi, yang dilambangkan dengan huruf e , menggambarkan perbandingan antara kecepatan relatif benda-benda setelah tumbukan dengan kecepatan relatif sebelum tumbukan. Koefisien ini memberikan indikasi seberapa banyak energi kinetik yang dipertahankan dalam sistem setelah tumbukan.

Secara matematis, koefisien restitusi dapat dinyatakan dengan **persamaan 4**.

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2} \quad (4)$$

Dengan v_1 dan v_2 adalah kecepatan benda pertama dan kedua sebelum tumbukan. v_1' dan v_2' adalah kecepatan benda pertama dan kedua setelah tumbukan.

Nilai koefisien restitusi (e) berkisar antara 0 hingga 1 dengan, $e = 1$ tumbukan elastis sempurna, dimana tidak ada kehilangan energi kinetik. Semua energi kinetik sebelum tumbukan dipertahankan setelah tumbukan. $0 < e < 1$ tumbukan tidak elastis, di mana sebagian energi kinetik hilang dan diubah menjadi energi deformasi, panas, dan energi lainnya. $e = 0$ tumbukan tidak elastis sempurna, di mana kedua benda bergerak bersama dengan kecepatan yang sama setelah tumbukan, menunjukkan bahwa semua energi kinetik relatif antara benda diubah menjadi energi lain [8].

Koefisien restitusi adalah konsep penting dalam mekanika dan dinamika, yang membantu dalam analisis energi dan perilaku benda selama dan setelah tumbukan. Dalam analisis tumbukan, koefisien restitusi digunakan untuk menentukan.

Misalkan ada dua mobil yang bergerak pada kecepatan tertentu. Ketika kedua mobil bertabrakan, momentum total sistem (dua mobil tersebut) tetap konstan, asalkan tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Namun, dalam tabrakan mobil di dunia nyata, seringkali ada gaya gesekan dan gaya lain yang berpengaruh, jadi momentum total mungkin tidak sepenuhnya terjaga. Namun, dalam tabrakan mobil yang ideal (misalnya, tabrakan di jalan raya yang datar dan mulus, tanpa hambatan lain), momentum sebelum tabrakan sama dengan momentum setelah tabrakan. Ini berarti jika satu mobil kehilangan momentum, mobil lainnya akan mendapatkan momentum yang sama besar dalam arah yang berlawanan, sehingga total momentum sistem tetap sama. Penerapan hukum momentum ini dapat membantu dalam analisis kecelakaan lalu lintas dan perencanaan desain mobil untuk meningkatkan keselamatan.

Mengemudi mobil pasti memiliki resiko kecelekaan, resiko tersebut pun dapat dipengaruhi berbagai hal, contohnya berat muatan mobil, berat muatan mobil yang berlebihan sangat berpotensi terjadi

kecelakaan, pada jalanan bidang datar potensi kecelakaannya meningkat sebesar 50% [9]. Lalu komponen interior mobil juga dapat mempengaruhi, khususnya dalam luka-luka yang dialami saat kecelakaan, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kebanyakan luka yang serius sangat dipengaruhi oleh komponen interior mobil [10].

Kecepatan mobil juga mempengaruhi pada saat mobil tabrakan, penelitian yang dilakukan oleh [11], mengatakan, faktor yang paling banyak menyebabkan kecelakaan adalah kecepatan, pengemudi melaju dengan cepat juga bukan tanpa alasan, biasanya pengemudi berpikir harus cepat sampai tujuan. Pemerintah sudah berupaya untuk mengontrol kecepatan para pengemudi dengan memberi batas kecepatan aman di setiap jalan, namun mengemudi melewati batas kecepatan aman sudah menjadi masalah umum dan banyak dilanggar para pengemudi, banyak pengemudi yang tetap melaju dengan kecepatan tinggi [12].

Tak hanya kecepatan mobil yang mempengaruhi, massa mobil pun juga mempengaruhi, pada penelitian yang dilakukan [13]. mengatakan, tanpa melihat umur pengemudi, mobil yang memiliki massa lebih ringan memiliki peluang kecelakan lebih kecil dibandingkan mobil yang memiliki massa lebih berat. Dalam data kecelakaan negara Britania Raya pada tahun menunjukkan rata-rata massa mobil yang terlibat kecelakaan sebesar 932 kg [14].

BeamNG.drive adalah *software* simulasi permainan kendaraan yang menampilkan proses fisik soft body untuk mensimulasikan penanganan dan kerusakan kendaraan secara realistis. Dalam BeamNG.drive, setiap komponen kendaraan disimulasikan secara real-time menggunakan *node* (titik massa) dan *beam* (pegas). Ini memungkinkan pengalaman berkendara yang sangat mendetail dan otentik, di mana pemain dapat mengatur

berbagai bagian kendaraan sesuai keinginan, mulai dari roda, suspensi, hingga mesin [15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji fenomena tumbukan pada dua kendaraan dengan memperhatikan perubahan momentum, energi kinetik, dan deformasi kendaraan sebagai respons terhadap tumbukan, dan juga untuk mengevaluasi keakuratan simulasi menggunakan *software* BeamNG.drive dengan membandingkan cocok atau tidaknya terhadap teori-teori fisis yang berlaku dalam tumbukan.

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang sering menggunakan model matematis sederhana atau simulasi yang terbatas, penelitian ini menggunakan *software* BeamNG.drive, sebuah *software* simulasi kendaraan yang berbasis fisika dengan tingkat realisme tinggi yang memungkinkan analisis yang lebih akurat dan mendetail, para pengguna *software* ini pun diberi kebebasan untuk mengatur simulasi sesuai dengan kebutuhannya masing-masing.

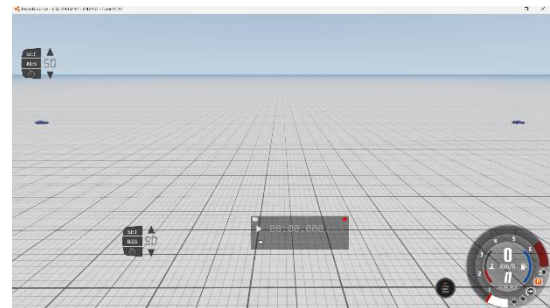
Harapannya dengan penelitian ini dapat menjadi tolak ukur dalam penggunaan *software* BeamNG.drive sebagai bahan ajar yang baru di masa mendatang. Atau bahkan sebagai *software* simulasi kecelakaan lalu lintas yang terjadi guna mencari tahu bagaimana kecelakaan lalu lintas tersebut bisa terjadi, bisa juga sebagai bahan sosialisasi kepada warga Indonesia untuk mengedukasi para pengemudi guna menekan angka kecelakaan menurun. Pada penelitian yang dilakukan [16], total jumlah kecelakaan yang terjadi selama mudik lebaran melalui jalur darat pada tahun 2015 adalah sebanyak 5.838 kecelakaan, sementara pada tahun 2016 jumlah total kecelakaan di jalur darat selama mudik lebaran adalah sebesar 5.474 kecelakaan.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dilakukan analisis momentum tumbukan

mobil menggunakan *software* BeamNG.drive. Dilakukan percobaan sebanyak satu kali dengan 3 variasi, menggunakan metode *rear-end collision*. Penelitian untuk menganalisis momentum tumbukan mobil yang bertabrakan, metode eksperimental yang digunakan akan terdiri dari beberapa tahap yang terinci. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan simulasi dengan *software* BeamNG.drive yang akan dilakukan dengan memilih kendaraan yang sama pada mobil menabrak dan mobil yang ditabrak (mobil A ; mobil B).



Gambar 1. Skema Percobaan

2. Meletakkan mobil A dengan koordinat X dan Z, yang sama dengan mobil B agar mobil B (menabrak) dapat memberikan energi tumbukan pada mobil A, dalam percobaan ini jarak antar kedua mobil tetap dalam nilai yang sama yaitu sebesar 200 meter.
3. Pada mobil yang menabrak diberikan kecepatan konstan dengan 50, 75, 100 km/h, karena mobil yang di pilih sama maka massa kendaran keduanya sama yaitu sebesar 1425 kg. Skema tumbukan pada simulasi ini adalah *rear-end collision* ,(menabrak dari belakang) dimana mobil A yang menabrak memiliki kondisi seperti diatas lalu menabrak mobil B yang tertabrak dari belakang pada posisi diam.
4. Memilih trek jalanan, gaya gesek mobil pada jalanan diabaikan, Dengan simulasi

ini akan di peroleh kecepatan awal, kecepatan akhir setelah tumbukan, jarak antar kedua mobil, massa kedua mobil, lalu kondisi mobil setelah tumbukan. Dengan skema ini kami mengumpulkan data kekekalan momentum awal dan akhir dengan **persamaan 5**

$$P_{awal} = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (5)$$

Karena mobil B dalam keadaan diam ($v_2 = 0$), maka **persamaan 5** dapat kita tulis menjadi

$$P_{awal} = m_1 v_1 \quad (5)$$

$$P_{akhir} = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (5)$$

Setelah menghitung kekekalan momentum awal dan akhir, selanjutnya membandingkan nilai momentum awal dan akhir.

Data energi kinetik awal dan energi kinetik akhir juga dikumpulkan, energi kinetik dapat dihitung menggunakan **persamaan 6**.

$$EK_{awal} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 \quad (6)$$

$$EK_{akhir} = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

Koefisien restitusi tumbukan juga dikumpulkan agar mengetahui tumbukan yang terjadi elastis atau tidak elastis, koefisien restitusi tumbukan dapat dihitung menggunakan **persamaan 7**

$$e = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2} \quad (7)$$

Karena mobil B dalam keadaan diam ($v_2 = 0$), maka **persamaan 8** dapat kita tulis menjadi,

$$e = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1} \quad (8)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan tabel berisi data sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Data Pengamatan

v_{awal} Mobil A (m/s)	v_{awal} Mobil B (m/s)	v_{akhir} Mobil A (m/s)	v_{akhir} Mobil A (m/s)
13,89	0	5,83	8,05
20,83	0	8,61	12,22
27,78	0	12,22	15,55

Dengan data yang diperoleh dari tabel diatas, kami menghitung nilai kekekalan momentum awal dan akhir, hasilnya sebagai berikut.

Tabel 2. Data Kekekalan Momentum

Variasi Kecepatan (m/s)	p_{awal} (J)	p_{akhir} (J)	Selisih (m)
13,89	19793,25	19779	14,75
20,83	29682,75	29682,75	0
27,78	39586,5	39572,25	14,25

Hasil perhitungan kekekalan momentum awal dan akhir menunjukkan nilai yang berbeda, namun perbedaan nilainya sangat kecil, selisih yang dihasilkan bisa saja berasal dari ketidakakuratan dalam simulasi ataupun kesalahan pengukuran. Namun hasil ini tetap sesuai dengan teori kekekalan momentum yang dimana $p_{awal} = p_{akhir}$. Bisa dilihat pada variasi 20,83 hasil kekekalan momentum awal sama dengan kekekalan momentum akhir, ini menunjukkan keakuratan simulasi yang dilakukan.

Tabel 3. Data Energi Kinetik

Variasi Kecepatan (m/s)	EK_{awal} (J)	EK_{akhir} (J)
13,89	137464,1	46188,78
20,83	309145,8	106433,6
27,78	549856,5	172358,9

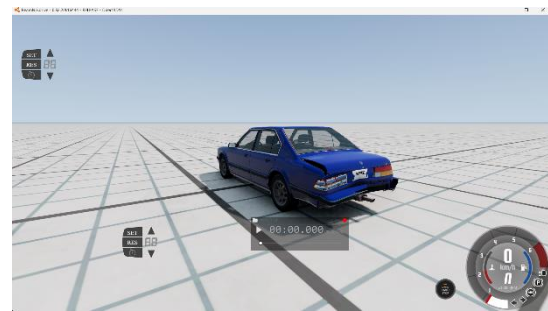
Hasil perhitungan energi kinetik awal dan akhir menunjukkan adanya penurunan nilai yang signifikan, artinya tumbukan yang terjadi adalah tumbukan tidak elastis, energi kinetik yang hilang berubah menjadi energi deformasi, dalam simulasi ini energi deformasi yang dihasilkan berupa perubahan bentuk mobil, bunyi suara yang dihasilkan saat tumbukan.



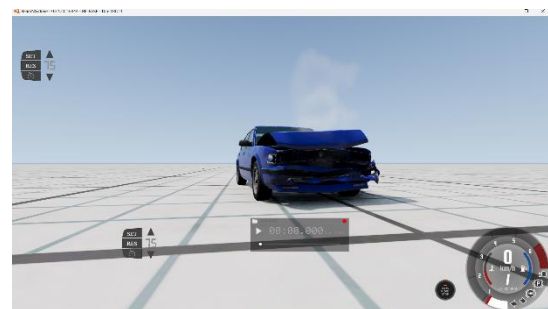
Gambar 2. Mobil A pada kecepatan 13,89 m/s

Gambar 2 menunjukkan kondisi deformasi mobil A setelah bertumbukan dengan mobil B pada kecepatan 13,89 m/s kerusakan struktural yang terjadi pada bagian depan mobil menunjukkan dampak kecepatan yang dimiliki mobil A.

Gambar 3 akan menunjukkan kondisi deformasi mobil B setelah bertumbukan dari belakang dengan mobil A pada kecepatan 13,89 m/s kerusakan struktural yang terjadi pada bagian belakang mobil menunjukkan dampak kecepatan yang dimiliki mobil A pada saat bertumbukan dengan mobil B.



Gambar 3. Mobil B pada kecepatan 13,89 m/s



Gambar 4. Mobil A pada kecepatan 20,83 m/s

Gambar 4 menunjukkan hasil deformasi pada mobil A setelah bertumbukan dengan mobil B pada kecepatan 20,83 m/s. Deformasi yang lebih parah dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya menandakan terjadinya peningkatan nilai energi kinetik yang lebih besar.

Pada **Gambar 5** akan menunjukkan hasil deformasi pada mobil B setelah bertumbukan dengan mobil A dari belakang pada kecepatan 20,83 m/s. Deformasi yang lebih parah dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya, ini juga menandakan seberapa besar dampak kecepatan dalam tumbukan ini.



Gambar 5. Mobil B pada kecepatan 20,83 m/s

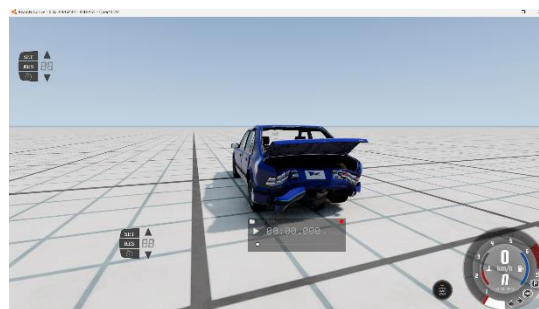
Pada **Gambar 6** akan menunjukkan hasil deformasi pada mobil A setelah bertumbukan dengan mobil B pada kecepatan 27,83 m/s.



Gambar 6. Mobil A pada kecepatan 27,78 m/s

Gambar 6 menunjukkan hasil deformasi pada mobil A, pada kecepatan ini tingkat kerusakan mencapai puncaknya, dibandingkan pada kecepatan sebelumnya deformasi yang dihasilkan paling parah ada pada kecepatan ini.

Gambar 7 akan menunjukkan hasil deformasi pada mobil B setelah bertumbukan dari belakang dengan mobil A pada kecepatan 27,83 m/s. Menunjukkan kerusakan mobil pada bagian belakang yang sangat parah jika dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya, menunjukkan energi kinetik yang dihasilkan paling besar jika dibandingkan dengan kecepatan sebelumnya.



Gambar 7. Mobil B pada kecepatan 27,78 m/s

Hal ini sesuai dengan teori, dimana dalam tumbukan tak elastis sebagian energi kinetik hilang dan diubah menjadi energi deformasi atau energi lainnya, dalam penelitian ini energi kinetik berubah menjadi energi deformasi. Energi deformasi yang dihasilkan berupa kerusakan pada mobil, dan juga suara yang dihasilkan pada saat tumbukan.

Tabel 4. Data Koefisien Restitusi

Variasi Kecepatan (m/s)	Koefisien Restitusi (e)
13,89	0,16
20,83	0,17
27,78	0,12

Hasil koefisien restitusi menunjukkan nilai e mendekati 0 namun tidak sama dengan 0, hal ini artinya tumbukan yang terjadi sangatlah tidak elastis, tetapi hal ini selaras dengan perhitungan energi kinetik karena hasil ini didukung dengan observasi deformasi yang signifikan pada kendaraan setelah tumbukan. Meskipun nilai koefisien restitusi sangat rendah, perlu dicatat bahwa nilai ini konsisten dengan karakteristik tumbukan tidak elastis yang diamati dalam simulasi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menggunakan *software* simulasi BeamNG.drive dengan trek yang mengabaikan gaya gesek mobil pada jalanan, dapat disimpulkan bahwa analisis perhitungan momentum menunjukkan nilai momentum awal dan akhir sistem (dua mobil) hampir sama, sesuai dengan prinsip kekekalan momentum dalam tumbukan tanpa adanya gaya eksternal. Lalu untuk hasil perhitungan energi kinetik menunjukkan adanya penurunan nilai yang signifikan antara sebelum dan setelah tumbukan. Hal ini mengindikasikan bahwa tumbukan yang terjadi adalah tumbukan tidak elastis, di mana sebagian energi kinetik hilang dan berubah menjadi energi deformasi.

Dan nilai koefisien restitusi yang diperoleh mendekati 0, mengkonfirmasi bahwa tumbukan yang terjadi adalah tumbukan tidak elastis. Semakin kecil nilai koefisien restitusi, semakin besar energi kinetik yang hilang dalam tumbukan.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menggunakan *software* BeamNG.drive sesuai dengan teori-teori fisika terkait tumbukan, menunjukkan bahwa *software* tersebut dapat digunakan sebagai alat simulasi yang akurat untuk menganalisis fenomena tabrakan kendaraan. Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam penggunaan *software* BeamNG.drive sebagai media pembelajaran fisika, khususnya dalam topik analisis tumbukan, atau menjadi referensi dalam penggunaan *software* BeamNG.drive sebagai simulasi untuk mereka ulang kejadian kecelakaan lalu lintas yang terjadi, guna mencari informasi penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas atau informasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Anjani, S. Ariandini, N. Rizkianty, S. Fuadi, and M. Pandu, "Menentukan Momentum Dan Koefisien Restitusi Benda Tumbukan Menggunakan Tracker Video Analyse," vol. 2, no. September, pp. 21–25, 2018.
- [2] A. A. Mughny and E. Rahmawati, "Rancang Bangun Kit Percobaan Konservasi Momentum Berbasis Mikrokontroler," vol. 05, pp. 9–14, 2016.
- [3] D. Abdur Rohman, "RANCANG Bangun Bandul Balistik Menggunakan Hukum Kekekalan Momentum Pada Tumbukan Tidak Elastis," vol. 04, pp. 112–118, 2015.
- [4] A. Kristiono and I. E. Santosa, "Penggunaan *software* LoggerPro untuk menganalisis momentum dan energi kinetik pada peristiwa tumbukan lenting sebagian," vol. 0, pp. 293–297, 2019.
- [5] S. Utari and E. C. Prima, "Analisis Hukum Kekekalan Momentum Model Tumbukan Kelereng dengan Gantungan Ganda menggunakan Analisis Video Tracker Analysis of Momentum Conservation Law on Marble Collisions with ... Analisis Hukum Kekekalan Momentum Model Tumbukan Kelereng dengan Gantun," no. December, 2019, doi: 10.2572/jpfk.v4i2.1814.
- [6] R. Fransisco, S. Afandi, and B. Rabeta, "Analisis numerik efek tumbukan dan pola deformasi crash box berbentuk origami," vol. 5, no. 1, pp. 57–62, 2020.
- [7] S. T. Juita, M. S. Seko, A. Y. Seku, and R. B. Astro, "Penentuan Koefisien

- Restitusi Benda Menggunakan Metode Video Tracking,” vol. 4, no. 1, pp. 46–53, 2020.
- [8] M. Y. Kholifudin, “Menentukan Koefisien Restitusi Tumbukan dengan Analisis Konversi Sudut Penyimpangan,” vol. 10, no. 1, pp. 64–69, 2019.
- [9] Hardjana, A. Muliasari, and G. Z. Ma’arif, “Potensi Kecelakaan Pada Area Jalan Dengan Geometrik Alinyemen Vertikal Yang Disebabkan Oleh Berat Muatan Kendaraan Berlebih,” vol. 6, no. 1, 2023.
- [10] Lindquist, A. Hall, and U. Björnstig, “*Real world car crash investigations – A new approach Real world car crash investigations – A new approach M Lindquist *, A Hall ** and U Björnstig ****,” vol. 8, no. 4, pp. 375–384, 2014, doi: 10.1533/ijcr.2003.0245.
- [11] P. J. Romadhona and S. Ramdhani, “Pengaruh Kecepatan Kendaraan Terhadap Keselamatan Pengguna Kendaraan Bermotor Pada Simpang Tak Bersinyal,” vol. 11, no. 1, pp. 31–40, 2017.
- [12] L. Aberg, L. Larsen, A. Glad, and L. Beilinson, “*Observed Vehicle Speed and Drivers ’ Perceived Speed of Others*,” vol. 46, no. 3, pp. 287–302, 1997.
- [13] L. Evans and N. Carolina, “*Accident involvement rate and car size*,” vol. 16, no. 516, pp. 387–405, 1984.
- [14] D. P. Wood, “*Safety And The Car Size Effect : A Fundamental Explanation*,” vol. 29, no. 2, pp. 139–151, 1997.
- [15] A. Adel *et al.*, “*Design of A 6-DOF Hydraulic Vehicle Driving Simulator*,” pp. 170–175, 2020.
- [16] M. Adisthi, V. M. Nanlohy, and T. Tjahjono, “Evaluasi Kecelakaan Lalulintas Selama Mudik Lebaran Melalui Jalur Darat Di Indonesia Tahun 2015 Dan 2016,” vol. 17, no. 1, pp. 39–48, Apr. 2017.

