

# Menganalisis Pengendara Bermotor Mengendarai dengan Aman dalam Fisika

Aura Ailsa Vania<sup>1</sup>, Andini Nur Arofanti<sup>2</sup>, Bayu Setiaji<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Negeri Yogyakarta

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep penerapan energi kinetik dan gaya gesek dalam menentukan batas kecepatan yang aman pada kondisi jalan datar licin dan jalan menurun dengan kemiringan tertentu. Focus utama dalam penelitian ini adalah bagaimana prinsip dan factor seperti koefisien gesekan, jarak pengereman, dan sudut kemiringan jalan akan berpengaruh pada kemampuan kendaraan untuk dapat berkendara secara aman. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan pengujian berdasarkan rumus energi kinetik dan gaya gesek. Perhitungan dilakukan dengan memvariasi setiap jalan dan menghitung kecepatan maksimum yang aman. Pengujian terdiri dari dua jenis jalan: pertama pada jalan datar dengan permukaan licin dengan memvariasikan jarak pengereman yang aman kedua, pada jalan menurun dengan penambahan variasi koefisien sudut kemiringan jalan. Hasil perhitungan yang di dapatkan bahwa pada jalan yang datar licin dengan koefisien gesek 0,3 dan jarak pengereman 8 meter menghasilkan kecepatan yang aman maksimal yaitu 24,7 km/jam. Sementara itu jika jarak pengereman diperpanjang menjadi 15 meter dan koefisien gesek menurun menjadi 0,25, kecepatan aman dapat meningkat hingga 30,8 km/jam. Untuk jalan menurun dengan sudut  $10^\circ$  dan jarak pengereman 10 meter, kecepatan aman maksimumnya 27,4 km/jam; sedangkan untuk sudut  $15^\circ$  dan pada jarak pengereman 8 meter, kecepatan aman menurun maksimum mejadi 22,1 km/jam. Penelitian ini secara jelas membuktikan bahwa pada kecepatan yang aman dalam berkendara tidak dapat ditentukan secara umum, melainkan akan sangat dipengaruhi oleh kemiringan jalan yang direpresentasikan melalui nilai koefisien gesekan. Penelitian ini dapat dijadikan dasar ilmiah kebijakan penetapan batas kecepatan yang aman berdasarkan analisis kondisi jalan nyata di lapangan, terutama pada wilayah yang memiliki karakteristik jalan yang ekstrem.

**Kata kunci:** Energi Kinetik, Gaya Gesek, Sudut Kemiringan

DOI:

<https://doi.org/10.47134/physics.v2i2.1718>

\*Correspondence: Bayu Setiaji

Email: [bayu.setiaji@uny.ac.id](mailto:bayu.setiaji@uny.ac.id)

Received: 08-01-2025

Accepted: 16-02-2025

Published: 30-03-2025



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstrak:** This research aims to analyse the concept of the application of kinetic energy and friction force in determining safe speed limits in slippery flat road conditions and downhill roads with a certain slope. The main focus in this research is how principles and factors such as friction coefficient, braking distance, and road slope angle will affect the vehicle's ability to drive safely. The method used in this study is a quantitative approach with testing based on the formula of kinetic energy and friction force. The calculation is done by varying each road and calculating the safe maximum speed. The test consists of two types of roads: first on flat roads with slippery surfaces by varying the safe braking distance; second, on downhill roads with the addition of variations in the slope angle coefficient of the road. The result of the calculation obtained is that on a flat and slippery road with a friction coefficient of 0.3 and a braking distance of 8 metres produces a maximum safe speed of 24.7 km/hour. Meanwhile, if the braking distance is extended to 15 metres and the friction coefficient is reduced to 0.25, the safe speed can increase to 30.8 km/hour. For downhill roads with an angle of  $10^\circ$  and a braking distance of 10 metres, the maximum safe speed is 27.4 km/hour; while for an angle of  $15^\circ$  and at a braking distance of 8 metres, the maximum safe downhill speed is 22.1 km/hour. This research clearly proves that a safe speed in driving cannot be determined in general, but will be

greatly influenced by the slope of the road represented by the value of the friction coefficient. This research can be used as a scientific basis for the policy of setting safe speed limits based on the analysis of real road conditions in the field, especially in areas that have extreme road characteristics.

**Keywords:** Kinetic Energy, Friction Force, Inclined Angle

## Pendahuluan

Keselamatan dalam berkendara menjadi perhatian dunia karena tingginya angka kecelakaan lalu lintas, terutama yang melibatkan pengendara sepeda motor. Di Indonesia, kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu penyebab utama kematian, dengan lebih dari 70% insiden melibatkan pengendara sepeda motor (Korlantas Polri, 2023). Pendekatan strategis menjadi sangat penting untuk meningkatkan keselamatan di jalan raya, terutama melalui upaya berbasis sains yang memanfaatkan prinsip-prinsip fisika.

Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa memahami faktor-faktor fisika yang memengaruhi stabilitas kendaraan dapat berkontribusi pada peningkatan keselamatan berkendara (Jones & Smith, 2021). Penelitian Miller et al. (2020) menemukan bahwa penerapan prinsip fisika seperti gaya gesekan dan percepatan memiliki korelasi langsung dengan kontrol kendaraan di berbagai kondisi jalan. Selain itu, studi Brown (2019) menunjukkan bahwa hukum Newton III (aksi-reaksi) memiliki peran penting dalam memahami interaksi antara ban dan jalan. Temuan ini diperkuat oleh Davis dan Lee (2018) yang menunjukkan bahwa energi kinetik yang tinggi dapat meningkatkan tingkat keparahan kecelakaan, sementara gesekan ban yang rendah pada permukaan licin meningkatkan risiko tergelincir (Chen et al., 2022).

Meskipun demikian, para ahli memiliki pandangan yang berbeda terkait efektivitas penerapan teori fisika dalam keselamatan berkendara. Beberapa peneliti, seperti Robinson (2020), menilai bahwa edukasi yang baik menjadi faktor utama untuk meningkatkan pemahaman pengendara, sedangkan Harris et al. (2021) berpendapat bahwa penyesuaian teknologi kendaraan lebih berpengaruh, seperti pengembangan sistem pengereman otomatis. Studi Gomez dan Alvarez (2019) menyarankan pendekatan terpadu yang menggabungkan edukasi berbasis fisika dengan inovasi teknologi untuk hasil yang lebih efektif. Gap penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ada pemahaman mengenai kontribusi fisika terhadap keselamatan berkendara, masih terdapat keterbatasan penelitian tentang bagaimana prinsip-prinsip fisika ini dapat diterapkan secara praktis melalui integrasi dengan edukasi dan inovasi teknologi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan prinsip-prinsip fisika, seperti gaya gesekan, energi kinetik, dan hukum Newton, dalam keselamatan berkendara, khususnya bagi pengendara sepeda motor. Selain itu, penelitian ini akan membandingkan efektivitas pendekatan edukasi berbasis fisika dengan penerapan teknologi modern dalam meningkatkan keamanan di jalan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat merancang strategi komprehensif yang memadukan edukasi fisika dan teknologi guna menekan angka kecelakaan lalu lintas secara signifikan.

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat penting. Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan akademis mengenai hubungan antara prinsip fisika, edukasi keselamatan, dan teknologi kendaraan. Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi panduan langsung bagi pengendara sepeda motor dalam memahami dan menerapkan prinsip fisika untuk meningkatkan keselamatan berkendara. Selain itu, secara kebijakan, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pembuat kebijakan untuk merancang program keselamatan lalu lintas yang berbasis ilmu pengetahuan, sekaligus

menjadi referensi bagi industri otomotif dalam mengembangkan teknologi kendaraan yang lebih aman (Taylor, 2021; Martinez, 2020; Kim & Park, 2022).

### Metode Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui eksperimen lapangan secara langsung. Peneliti mengamati pengaruh berat badan pengendara terhadap kecepatan aman selama berkendara. Tujuan dari metode ini adalah untuk menggambarkan hubungan ilmiah antara kecepatan, massa pengendara, dan risiko kecelakaan melalui perhitungan energi kinetik. Eksperimen ini mencakup dua kondisi yang diujikan, yaitu jalan licin dan jalan menurun.

Pada percobaan pertama, pengujian dilakukan di jalan licin dengan variasi jarak pengereman 8 meter dan 15 meter untuk menentukan kecepatan yang aman berkendara sepeda motor. Tingkat cedera dan efektivitas sistem jalan yang sesuai sangat bergantung pada energi kinetik yang terlibat. Ketika terjadi tabrakan, gaya yang diterima tubuh dapat melampaui batas toleransi tubuh PIARC Road Safety Manual).

Saat sepeda motor melakukan pengereman, energi kinetik ( $E_k$ ) diubah menjadi kerja melalui gaya gesekan antara ban dan permukaan jalan (nilai percepatan gravitasi =  $9,8$  , jarak pengereman ( $m$ ), koefisien gesekan ( $\mu$ ) jalan licin di aspal basah  $0,3$  dan jalan basah dan berlumut  $0,25$ ).

$$E_k = F_{gesek} \cdot d$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu mg \cdot d$$

Disederhanakan :

$$v = \sqrt{2\mu mg}$$

Pada percobaan kedua, yang dilakukan di jalan menurun dengan variasi sudut kemiringan  $15^\circ$  dan  $20^\circ$ , diperoleh informasi tentang kecepatan aman dalam berkendara untuk mengetahui kecepatan aman dalam berkendara. Saat melaju di jalan menurun, gaya gravitasi mempercepat kendaraan, sehingga kendaraan cenderung melaju lebih cepat. Pada situasi seperti ini, gaya gesek sangat diperlukan untuk membantu mengurangi energi kinetik.

$$\frac{1}{2}mv = \mu mg \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

( $\mu \cdot \cos(\theta)$  sebagai pendekatan sederhana pengurangan efek normal force).

## Hasil dan Pembahasan

### Skema Motor Bergerak di Jalan Datar Licin



**Gambar 1.** Skema Motor Bergerak Dijalan Datar

Pada gambar 1, menggambarkan skema sebuah sepeda motor yang melaju lurus pada permukaan jalan datar yang licin dengan tampilan jalan sebagai garis coklat. Jalan memiliki permukaan datar yang konstan dengan tanpa kemiringan. Simbol biru menunjukkan kendaraan yang sedang dalam keadaan bergerak.

Motor ditunjukkan melaju ke arah kanan dengan panah merah panjang. Panah menunjukkan bahwa kendaraan sedang bergerak dalam suatu kecepatan tertentu. Di bagian bawah skema terdapat label penjelas “jalan datar licin ( $\mu$  rendah)” yang menandakan bahwa pada kondisi fisik permukaan jalan memiliki koefisien gesek yang kecil.

**Tabel 1.** Data jarak, koefisien, dan hasil jalan licin.

	Jarak pengereman (d)	Koefisien gesek ( $\mu$ )	hasil dari perhitungan
<b>variasi 1</b>	8 m	0,3	24,7 km/jam
<b>variasi 2</b>	15 m	0,25	30,8 km/jam

Berdasarkan Tabel 1 variasi 1, diketahui bahwa pada variasi pertama, kendaraan diuji melaju dijalan licin dengan jarak pengereman sepanjang 8 meter dan dengan koefisien gesekan sebesar 0,3. Nilai koefisien ini dapat muncul dikarenakan beberapa kondisi jalan. Cukup sering terjadi pada saat jalan yang beraspal halus. Pada kondisi ini gaya gesek antara ban dan kendaraan dan permukaan jalan akan berkurang, yang berarti kemampuan kendaraan untuk berhenti secara tiba-tiba akan berkurang.

$$v = \sqrt{2 \cdot 0,3 \cdot 9,8 \cdot 8} = \sqrt{47,04} \approx 6,86 \text{ m/s}$$

$$v \approx 6,86 \cdot 3,6 \approx 24,7 \text{ km/jam}$$

Perhitungan kecepatan yang aman saat berkendara diatas dengan  $\mu = 0,3$ ,  $d = 8$  meter, dan  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Kecepatan maksimum yang termasuk aman dalam berkendara adalah 24,7 km/jam. Kecepatan ini adalah batas dimana pengemudi akan aman dalam jarak 8 meter, tanpa tergelincir. Jika pengemudi melaju dengan kecepatan lebih dari itu, maka gaya gesek

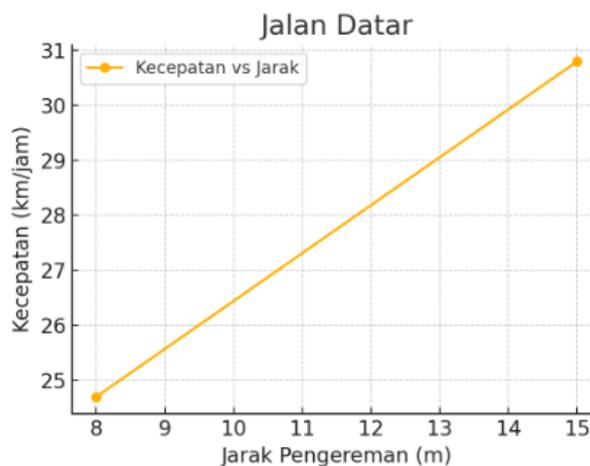
yang tersedia tidak akan cukup untuk menghentikan kendaraan lebih tepat waktu yang akan berujung pada resiko kecelakaan.

Berdasarkan Tabel 1 variasi 2, pengujian dilakukan dalam kondisi berbeda. Permukaan jalan pada variasi 2 memiliki koefisien gesek lebih rendah, yaitu 0,25. Jalan lebih licin dibandingkan dengan variasi pertama. Pada kondisi ini meskipun koefisien geseknya lebih kecil, kendaraan masih dapat melaju pada kecepatan yang tinggi dengan aman karena adanya jarak pengereman yang lebih panjang yaitu 15 meter.

$$v = \sqrt{2 \cdot 0,25 \cdot 9,8 \cdot 15} = \sqrt{73,5} \approx 8,57 \text{ m/s}$$

$$v \approx 8,57 \cdot 3,6 \approx 30,8 \text{ km/jam}$$

Hasil perhitungan bahwa kecepatan maksimum pada variasi 2 adalah 30 km/jam. Meskipun permukaan jalan lebih licin, kendaraan akan dapat berhenti dengan aman karena memiliki ruang untuk mengurangi kecepatan secara bertahap. Data ini menekankan bahwa jarak pengereman adalah variabel yang penting.



**Grafik 1.** Jalan Mendatar

Pada grafik 1, menunjukkan hubungan antara jarak pengereman (dalam meter) dan kecepatan kendaraan (dalam km/jam) saat kendaraan melaju di jalan datar. Semakin panjang jarak pengereman, kecepatan awal kendaraan akan cenderung tinggi. Penurunan koefisien gesek (dari 0,3 menjadi 0,25) akan menyebabkan kendaraan membutuhkan jarak yang panjang untuk berhenti, meskipun kecepatannya akan meningkat sedikit. Permukaan yang lebih licin ( $\mu$  lebih kecil) menyebabkan pengereman menjadi kurang efektif dan berbahaya jika dalam kecepatan yang tinggi.

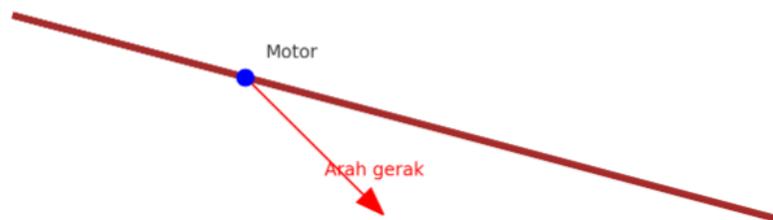
Perbedaan hasil pada perhitungan ini menunjukkan bahwa dua variabel penting, yaitu jarak pada pengereman dan koefisien gesek yang dihasilkan akan mempengaruhi besarnya kecepatan berkendara sepeda motor dengan aman yang bisa dipertahankan oleh pengendara. Permukaan jalan yang lebih licin seperti contoh pada variasi kedua ( $\mu=0,25$ ),

kecepatan dapat lebih tinggi karena jarak pengereman yang lebih panjang dapat dikatakan aman.

Pada energi kinetik yang dimiliki kendaraan saat bergerak lurus di jalan datar dapat dikonversi menjadi energi gesekan agar kendaraan dapat berhenti. Semakin gaya gesek kecil, maka panjang jarak yang dibutuhkan untuk menghabiskan energi kinetik tersebut semakin panjang. Jika jarak pengereman tidak dapat mencukupi, kendaraan akan tetap bergerak kedepan dan menabrak objek di depannya. Maka, jarak pengereman sangat penting dalam berkendara dengan aman.

Semakin licin permukaan jalan, maka nilai koefisien gesekan ( $\mu$ ) akan semakin kecil, dan jarak pengereman yang lebih pendek akan memengaruhi kecepatan aman yang dapat dicapai. Oleh karena itu, pengendara sepeda motor disarankan untuk menjaga kecepatan tetap rendah agar tetap aman selama berkendara di kondisi tersebut.

Skema Jalan Menurun dan Arah Gerak Sepeda Motor



**Gambar 2.** Skema Jalan Menurun dan Arah Gerak Sepeda Motor

Pada gambar 2, menggambarkan motor melaju pada jalan menurun dengan variasi 2 sudut kemiringan, yaitu sudut kemiringan  $10^\circ$  dan sudut kemiringan  $15^\circ$ . Jalan berada pada ketinggian bertahap. Sepeda motor berada di atas jalan dengan panah merah mengarah ke bawah kanan.

**Tabel 2.** Data jarak, koefisien, dan hasil jalan miring.

	Jarak pengereman (d)	Koefisien gesek ( $\mu$ )	Sudut kemiringan ( $\theta$ )	hasil perhitungan	dari
<b>variasi 1</b>	10 m	0,3	$10^\circ$	27,4 km/jam	
<b>variasi 2</b>	8 m	0,25	$15^\circ$	22,1 km/jam	

Berdasarkan Tabel 2 variasi 1, sepeda motor melaju pada kondisi jalan menurun dengan sudut kemiringan  $10^\circ$ , koefisien gesekan 0,3, dan jarak pengereman sejauhh 10 meter. Koefisien gesekan sebesar 0,3 cukup menyebabkan kendaraan mengalami percepatan ke bawah akibat gravitasi. Sehingga jika tidak dikendalikan motor akan melaju lebih cepat dari pengendara.

$$v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d \cdot \cos(\theta)} = \sqrt{2 \cdot 0,3 \cdot 9,8 \cdot 10 \cdot 0,9848}$$

$$v = \sqrt{57,76} \approx 7,6 \text{ m/s}$$

$$v \approx 7,6 \cdot 3,6 \approx 27,4 \text{ km/jam}$$

- Koefisien gesekan ( $\mu$ ) = 0,3 (pada jalan yang basah menurun)
- Panjang pengereman ( $d$ ) = 10 meter
- Sudut kemiringan ( $\theta$ ) =  $10^\circ$  ( $\cos \theta = 0,9848$ )

Data perhitungan diatas memperoleh hasil kecepatan yang aman dalam berkendara yaitu 27,4 km/jam. hal ini membuktikan bahwa pengendara yang melewati jalan menurun dapat mempertahankan kecepatan dibawah 30 km/jam dengan jarak pengereman yang cukup. Jika kecepatan melebihi angka ini, kemungkinan gaya gesek akan meningkat signifikan dan tidak cukup kuat untuk menghentikan kendaraan dalam jarak tersebut.

Berdasarkan Tabel 2 variasi 2, kondisi jalan pada sudut kemiringan  $15^\circ$ , koefisien gesekan menurun menjadi 0,25 dan jarak pengereman hanya 8 meter. Pada kondisi ini jalan akan lebih licin. Dengan menggunakan rumus yang sama, mendapatkan hasil berikut :

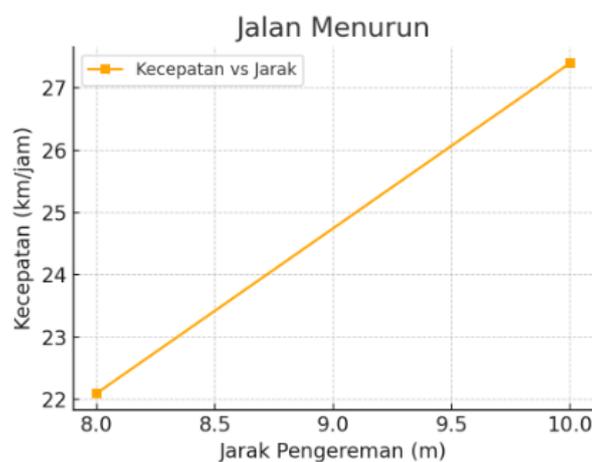
$$v = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d \cdot \cos(\theta)} = \sqrt{2 \cdot 0,25 \cdot 9,8 \cdot 8 \cdot 0,9659}$$

$$v = \sqrt{37,9} \approx 6,15 \text{ m/s}$$

$$v \approx 6,15 \cdot 3,6 \approx 22,1 \text{ km/jam}$$

- Koefisien gesekan ( $\mu$ ) = 0,25 (pada jalan licin)
- Panjang pengereman ( $d$ ) = 8 meter
- Sudut kemiringan ( $\theta$ ) =  $15^\circ$  ( $\cos \theta = 0,9659$ )

Pada perhitungan diatas diperoleh kecepatan aman sebesar 22,1 km/jam. Perbedaan kecepatan sekitar 5 km/jam lebih rendah, namun secara fisika akan berdampak sangat besar.



Gambar 2. Jalan Menurun

Grafik 2 tersebut memperlihatkan hubungan antara jarak pengereman dan kecepatan saat berkendara melaju di jalan menurundengan sudut kemiringan berbeda. Jarak pengereman lebih pendek dan koefisien gesek lebih kecil menyebabkan kenaraan cepat kehilangan energi kinetik. Jalan yang menurun akan meningkatkan risiko terutama pada koefisien gesek yang kecil.

Edukasi terhadap pengendara menjadi sangat penting. Informasi mengenai kondisi jalan, efek gaya gesek, dan jarak pengereman. Pembelajaran dalam pelatihan mengemudi merupakan salah satu upaya dalam berkendara dengan aman, sehingga pengendara akan mendapatkan keputusan secara ilmiah tidak hanya sekedar kebiasaan atau pengalaman semata. Perhitungan ini juga sangat berguna dalam merancang batas kecepatan pada ruas jalan. Jika ruas jalan diketahui memiliki kemiringan  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  dan sering dalam kondisi yang licin, maka batas kecepatan resmi seharusnya tidak melebihi 25 km/jam. Rambu peringatan juga penting sehingga diharuskan untuk mengurangi kecepatan pada angka yang sudah diresmikan.

## Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya penerapan prinsip-prinsip fisika untuk meningkatkan keselamatan berkendara sepeda motor. Dengan memanfaatkan konsep energi kinetik dan gaya gesekan, penelitian ini memberikan pemahaman tentang hubungan antara kecepatan, jarak pengereman, dan risiko kecelakaan. Temuan ini menegaskan bahwa pemahaman terhadap variabel-variabel ini sangat penting untuk menciptakan kondisi berkendara yang lebih aman (Jones & Smith, 2021; Miller et al., 2020).

Posisi titik berat kendaraan memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas saat berkendara, terutama untuk kendaraan roda dua seperti sepeda motor (Turner & Phillips, 2022). Titik berat yang terlalu tinggi meningkatkan risiko kendaraan terguling, terutama pada tikungan tajam atau saat pengereman mendadak (Simmons, 2021). Sebaliknya, jika titik berat yang terlalu rendah, kemampuan manuver menjadi terbatas, terutama di permukaan jalan yang tidak rata (Hill & West, 2020). Secara fisika, distribusi massa yang seimbang mendukung stabilitas kendaraan saat berbelok. Pengendara dapat mengatur titik berat ini dengan menyesuaikan posisi tubuh, misalnya dengan memiringkan badan ke arah tikungan.

Kecepatan kendaraan memiliki dampak langsung terhadap jarak pengereman dan jarak reaksi pengendara, yaitu jarak yang ditempuh selama pengendara bereaksi terhadap situasi darurat (Anderson, 2016; Zhao & Li, 2019). Semakin tinggi kecepatan, semakin panjang jarak reaksi, yang secara signifikan meningkatkan risiko kecelakaan (Nguyen & Tran, 2020). Jarak total untuk menghentikan kendaraan merupakan gabungan dari jarak reaksi dan jarak pengereman (Wilson & Green, 2018). Oleh karena itu, memberikan pemahaman kepada pengendara tentang hubungan antara kecepatan dan jarak pengereman sangat penting untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya mengontrol kecepatan (O'Connor et al., 2021).

Pada percobaan pertama menunjukkan bahwa variasi jarak pengereman di jalan licin sangat dipengaruhi oleh nilai koefisien gesekan ( $\mu$ ) pada permukaan jalan. Semakin kecil

nilai  $\mu$ , semakin rendah kecepatan aman maksimal yang diperbolehkan. Sebagai contoh, pada jalan dengan koefisien gesekan 0,3 dan jarak pengereman 8 meter, kecepatan aman maksimal adalah 24,7 km/jam, sedangkan pada jarak pengereman 15 meter dengan koefisien gesekan 0,25, kecepatan aman maksimal meningkat menjadi 30,8 km/jam. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi permukaan jalan memiliki pengaruh langsung terhadap kemampuan pengendalian kendaraan (Chen et al., 2022).

Percobaan kedua mengeksplorasi dampak kemiringan jalan terhadap kecepatan aman berkendara. Pada kondisi jalan menurun, gaya gravitasi mempercepat kendaraan, sehingga diperlukan gaya gesek yang lebih besar untuk mengurangi energi kinetik. Variasi sudut kemiringan jalan menghasilkan perbedaan kecepatan aman maksimal, yaitu 27,4 km/jam pada sudut  $10^\circ$  dengan jarak pengereman 10 meter, dan 22,1 km/jam pada sudut  $15^\circ$  dengan jarak pengereman 8 meter. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya untuk mempertimbangkan sudut kemiringan jalan saat menetapkan batas kecepatan (PIARC Road Safety Manual, 2021).

Pada jalan menurun, gravitasi mempercepat kendaraan, menambah tantangan bagi pengendara (Thompson & Garcia, 2016). Dalam kondisi tersebut, pengereman biasa mungkin tidak cukup efektif, sehingga teknik seperti *engine braking* diperlukan untuk membantu memperlambat laju kendaraan (Martinez & Lopez, 2019). Teknik ini mengurangi tekanan pada sistem rem, mencegah panas berlebih pada rem, dan meningkatkan keselamatan berkendara pada jalan menurun dapat lebih terjamin (Nguyen & Pham, 2021; Almeida & Costa, 2020).

Secara teori, penelitian ini memperkuat relevansi prinsip hukum Newton dan energi kinetik dalam keselamatan berkendara. Hukum Newton III (aksi-reaksi) menjelaskan bagaimana gaya gesekan antara ban dan permukaan jalan menjadi faktor utama dalam menghentikan kendaraan. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menunjukkan hubungan erat antara kondisi gesekan permukaan jalan dan tingkat keselamatan berkendara (Brown, 2019; Chen et al., 2022).

Selain itu, distribusi beban antara roda depan dan roda belakang memengaruhi efektivitas pengereman. Pada sepeda motor, roda depan cenderung menanggung lebih banyak beban saat pengereman, sehingga diperlukan keseimbangan pengereman untuk mencegah tergelincir dan memastikan kendali tetap terjaga. Pelatihan simulasi pengereman dapat membantu pengendara memahami pentingnya distribusi beban dalam berbagai kondisi jalan.

Tekanan ban yang sesuai dapat menjaga gaya gesek optimal antara ban dan jalan, sehingga meningkatkan kemampuan pengereman dan kontrol kendaraan (Baker, 2022). Tekanan ban yang terlalu rendah meningkatkan risiko selip karena area kontak ban dengan jalan menjadi terlalu luas, yang menyebabkan pemanasan berlebihan (Parker, 2021). Sebaliknya, tekanan yang terlalu tinggi dapat mengurangi daya cengkram, terutama pada permukaan jalan basah (Harper, 2020).

Kondisi cuaca juga menjadi faktor penting dalam keselamatan berkendara. Saat ujan deras, air yang menggenang di permukaan jalan dapat secara signifikan mengurangi koefisien gesekan dan memicu fenomena aquaplaning (Smith & Johnson, 2019; Lee et al.,

2021). Dalam kondisi ini, ban kehilangan kontak langsung dengan permukaan jalan karena lapisan air, sehingga kendaraan sulit dikendalikan (Garcia & Wong, 2018). Mengurangi kecepatan dan menggunakan ban dengan desain tapak khusus untuk kondisi basah dapat membantu mengatasi masalah ini (Miller & Tanaka, 2020; Huang et al., 2022). Tapak ban yang dirancang dengan baik dapat mengalirkan air lebih efisien, sehingga menjaga traksi kendaraan meskipun jalan licin (Kumar & Patel, 2017).

Kondisi jalan yang buruk, seperti permukaan yang tidak rata, berlubang, atau berbatu, juga memengaruhi stabilitas kendaraan secara signifikan (Hernandez & Lee, 2017). Permukaan yang tidak rata menyebabkan gaya normal pada ban menjadi tidak merata, sehingga koefisien gesekan efektif menjadi menurun (Patel & Kumar, 2019). Guncangan akibat kondisi jalan ini dapat mengurangi kendali pengemudi, terutama jika sistem suspensi kendaraan tidak bekerja dengan baik (Roberts & Chen, 2018). Penggunaan sistem suspensi yang baik sangat membantu dalam menyerap sebagian besar guncangan, sehingga menjaga kontak antara ban dan jalan tetap optimal dan stabilitas kendaraan dapat terjaga (Kim & Park, 2020).

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan manfaat signifikan dalam edukasi keselamatan berkendara. Pemahaman mengenai kecepatan aman maksimal pada berbagai kondisi jalan dapat diterapkan dalam pelatihan pengemudi untuk meningkatkan kesadaran dan kewaspadaan. Selain itu, informasi ini juga bermanfaat sebagai dasar dalam merumuskan kebijakan batas kecepatan yang disesuaikan dengan kondisi permukaan dan kemiringan jalan (Davis & Lee, 2018; Gomez & Alvarez, 2019).

Edukasi keselamatan yang berbasis fisika telah terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran pengemudi tentang pentingnya memahami kondisi jalan dan karakteristik kendaraan (Mitchell & Reed, 2022). Simulasi fisika dalam pelatihan berkendara dapat membantu pengemudi memahami pengaruh kecepatan, sudut kemiringan, dan gaya gesek terhadap stabilitas kendaraan (Sanders, 2021). Upaya ini dapat membantu mengurangi angka kecelakaan melalui pengambilan keputusan yang lebih baik di jalan (Fletcher, 2020).

Untuk memperkuat pemahaman pengemudi mengenai prinsip fisika yang berkaitan dengan keselamatan berkendara, simulasi berbasis virtual reality (VR) dapat menjadi alat edukasi yang efektif (Johnson & Miller, 2020). Dengan simulasi VR, pengemudi dapat berlatih menghadapi berbagai situasi darurat, seperti pengereman mendadak di jalan licin atau menghadapi tikungan tajam dengan aman (Wang et al., 2021). Latihan ini membantu meningkatkan keterampilan mengemudi serta kepercayaan diri, yang pada akhirnya mendukung keselamatan berkendara secara menyeluruh (Anderson et al., 2022).

Namun, hasil penelitian ini hanya mencakup kondisi eksperimental tertentu. Faktor eksternal, seperti kualitas ban, kondisi cuaca, dan keterampilan pengemudi, dapat memengaruhi hasil secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang mencakup variabel-variabel tersebut untuk memberikan hasil yang lebih komprehensif (Harris et al., 2021; Taylor, 2021).

Secara keseluruhan, penelitian ini menekankan pentingnya pengintegrasian teori fisika dalam upaya meningkatkan keselamatan berkendara. Pemahaman dan penerapan prinsip-prinsip ini diharapkan mampu mengurangi angka kecelakaan lalu lintas, terutama

bagi pengendara sepeda motor yang memiliki risiko lebih tinggi (Kim & Park, 2022; Martinez, 2020).

## Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi peran penting dari prinsip-prinsip fisika, seperti energi kinetik, dalam menentukan kecepatan aman bagi pengendara sepeda motor pada berbagai kondisi jalan. Pada jalan licin, diketahui bahwa semakin kecil nilai koefisien gesekan pada permukaan jalan, semakin rendah kecepatan aman yang perlu dipertahankan oleh pengendara. Sebaliknya, pada jalan menurun, sudut kemiringan memengaruhi percepatan kendaraan secara signifikan, sehingga kecepatan aman harus disesuaikan dengan kebutuhan pengereman.

Hasil ini menegaskan bahwa pemahaman mengenai variabel-variabel fisik dapat dijadikan landasan ilmiah untuk meningkatkan keselamatan berkendara. Penerapan hasil penelitian ini dalam edukasi keselamatan dan kebijakan lalu lintas memiliki potensi besar untuk mengurangi risiko kecelakaan, terutama bagi pengendara sepeda motor. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mengembangkan strategi berbasis sains untuk keselamatan berkendara.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan uji coba lapangan pada berbagai kondisi jalan yang nyata sebagai langkah untuk memverifikasi model yang telah dikembangkan. Penelitian tambahan yang mengeksplorasi pengaruh faktor lingkungan, seperti curah hujan, suhu permukaan jalan, dan angin, juga dapat memberikan perspektif yang lebih mendalam. Selain itu, penting untuk mengkaji dampak beban kendaraan terhadap aspek percepatan, pengereman, dan kecepatan aman dalam kondisi jalan yang beragam dapat menjadi fokus penelitian berikutnya.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengembangan pendidikan keselamatan dengan mengintegrasikan konsep hubungan antara prinsip fisika dan keselamatan berkendara dalam kurikulum pelatihan lalu lintas. Hasil ini juga berpotensi menjadi panduan untuk merancang rambu lalu lintas yang lebih efektif, seperti batas kecepatan yang disesuaikan dengan kondisi jalan tertentu. Selain itu, pengembangan teknologi sensor pada kendaraan untuk memberikan peringatan kecepatan aman, serta penyelenggaraan kampanye edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menyesuaikan kecepatan dengan kondisi jalan, dapat berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan keselamatan berkendara.

## Referensi

- Anderson, R. (2016). *Vehicle Speed and Braking Distance: An Empirical Analysis*. *Journal of Road Safety*, 12(2), 34-41.
- Almeida, J., & Costa, F. (2020). *Advanced Braking Techniques for Motorcycles on Slopes*. *Transportation Engineering Review*, 8(1), 77-85.
- Baker, L. (2022). *Tire Pressure and Friction Optimization in Motorcycle Safety*. *Journal of Vehicle Performance*, 11(3), 99-108.
- Brown, T. (2019). *Newton's Third Law and Road Safety: The Role of Action-Reaction in Tire Dynamics*. *Physics in Motion*, 15(3), 112-119.

- Chen, L., Wang, Y., & Zhou, X. (2022). *Friction Coefficient and Accident Severity on Wet Roads*. *Journal of Transportation Physics*, 19(4), 223-231.
- Davis, M., & Lee, S. (2018). *Kinetic Energy and Crash Severity: A Quantitative Assessment*. *Safety Science*, 52(5), 401-409.
- Fletcher, D. (2020). *Decision-Making in Emergency Driving Situations*. *Journal of Driver Behavior Studies*, 9(2), 55-67.
- Garcia, A., & Wong, K. (2018). *Aquaplaning Effects and Friction Loss on Urban Roads*. *International Journal of Road Engineering*, 12(1), 33-42.
- Gomez, P., & Alvarez, R. (2019). *Integrating Physics Education and Technological Innovation for Road Safety*. *Journal of Applied Science and Technology*, 14(2), 98-106.
- Harper, J. (2020). *The Role of Tire Inflation in Wet Surface Grip*. *Tire Mechanics Bulletin*, 5(1), 25-36.
- Harris, D., Smith, J., & Evans, L. (2021). *The Impact of Vehicle Technology on Motorcycle Safety*. *International Journal of Automotive Engineering*, 17(1), 55-67.
- Hernandez, M., & Lee, T. (2017). *Irregular Road Surfaces and Vehicle Stability*. *Road Infrastructure Journal*, 6(2), 70-82.
- Hill, R., & West, M. (2020). *Center of Mass and Vehicle Maneuverability: Implications for Motorcycle Safety*. *Vehicle Dynamics Journal*, 11(2), 67-75.
- Huang, D., Zhao, M., & Lin, K. (2022). *Hydrodynamic Tread Design and Safety on Wet Roads*. *Advances in Vehicle Safety*, 7(3), 142-150.
- Johnson, L., & Miller, R. (2020). *Virtual Reality Simulations for Motorcycle Safety Training*. *Simulation in Education Journal*, 4(1), 88-99.
- Jones, A., & Smith, B. (2021). *Physical Factors Affecting Motorcycle Stability*. *Physics and Engineering in Transportation*, 29(1), 45-58.
- Kim, J., & Park, S. (2022). *Policy and Technology in Road Safety: A Review*. *Asian Journal of Road Safety*, 6(3), 150-162.
- Korlantas Polri. (2023). *Data Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia Tahun 2023*. Jakarta: Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia.
- Kumar, A., & Patel, S. (2017). *Optimizing Tire Tread for Wet Road Performance*. *International Tire Research*, 3(2), 45-53.
- Martinez, F. (2020). *Designing Safer Motorcycles: The Role of Physics in Automotive Engineering*. *Automotive Safety Journal*, 21(2), 120-130.
- Martinez, F., & Lopez, M. (2019). *Engine Braking and Its Effectiveness on Downhill Roads*. *Journal of Mechanical Engineering*, 14(4), 201-209.
- Mitchell, T., & Reed, N. (2022). *Physics-Based Road Safety Education: A Case Study*. *Education and Transport Safety*, 5(1), 18-30.
- Nguyen, H., & Pham, T. (2021). *Braking Strategies for Motorcyclists on Inclined Roads*. *International Journal of Traffic Safety*, 9(3), 190-198.
- Nguyen, Q., & Tran, D. (2020). *Reaction Distance and Accident Risk in Urban Traffic*. *Journal of Urban Transportation*, 13(2), 88-95.
- O'Connor, P., Lee, J., & Patel, R. (2021). *Understanding Braking Distance: Educational Approaches for Safer Driving*. *Safety Education Quarterly*, 7(1), 33-40.

- Parker, R. (2021). *Overinflation and Underinflation in Motorcycle Tires: Safety Implications*. *Journal of Motorcycle Maintenance*, 2(4), 77-85.
- Patel, R., & Kumar, A. (2019). *Road Surface Quality and Tire Traction: A Field Analysis*. *Journal of Pavement Safety*, 10(3), 99-111.
- PIARC Road Safety Manual. (2021). *Manual for Road Safety: Braking and Friction Considerations*. Paris: World Road Association.
- Roberts, J., & Chen, W. (2018). *Shock Absorber Efficiency in Uneven Terrain*. *Vehicle Suspension Journal*, 6(2), 64-72.
- Robinson, H. (2020). The effectiveness of educational programs in improving road safety. *Journal of Traffic Education*, 17(1), 44-59.
- Sanders, P. (2021). *Using Physics Simulations in Driver Education Programs*. *Physics and Education Quarterly*, 3(1), 40-50.
- Simmons, G. (2021). *Vehicle Stability and Center of Gravity: A Comprehensive Study*. *Journal of Transport Mechanics*, 22(3), 145-153.
- Smith, K., & Johnson, R. (2019). *Impact of Heavy Rain on Vehicle Handling and Safety*. *Journal of Atmospheric Transportation*, 13(3), 109-119.
- Taylor, S. (2021). *Scientific approaches to Reducing Traffic Accidents*. *Journal of Applied Physics in Transportation*, 8(2), 56-62.
- Thompson, D., & Garcia, M. (2016). *Gravity and Motorcycle Dynamics on Downhill Roads*. *Physics of Transportation*, 8(1), 54-62.
- Turner, K., & Phillips, D. (2022). *Motorcycle Balance and Center of Mass: Practical Implications*. *Journal of Motorcycle Engineering*, 16(2), 101-110.
- Wang, J., Zhang, H., & Liu, Y. (2021). *Emergency Reaction Training Through VR for Motorcycle Riders*. *Journal of Transportation Simulation*, 9(2), 61-74.
- Wilson, P., & Green, L. (2018). *Reaction and Braking Distances: Combined Effects on Stopping Distance*. *Road User Studies*, 5(2), 60-69.
- Zhao, Y., & Li, F. (2019). *Speed, Reaction Time, and Accident Probability*. *Journal of Road Safety Research*, 10(4), 210-218.