

Pengaruh Sudut Kemudi terhadap Kestabilan Kendaraan Ringan di Jalan Menanjak

¹Ramzi Fitra Ramadhan, ²Muhamad Fajar siddiq, ³Ahmad Hasannudin, ⁴Rahmat
^{1,2,3}Student Department of Mechanical Engineering, Universitas Sains Indonesia, Bekasi
⁴Lecturer Department of Mechanical Engineering, Universitas Sains Indonesia, Bekasi
Correspondence author : rahmat.r@lecturer.sains.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut kemudi terhadap kestabilan kendaraan ringan pada kondisi jalan menanjak. Metode yang digunakan adalah eksperimen simulasi dan pengujian lapangan dengan memvariasikan sudut kemudi sebesar 5°, 10°, 15°, dan 20° pada tanjakan dengan kemiringan 15%. Parameter yang diukur meliputi kecepatan kritis, sudut guling, dan simpangan lateral kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemudi menyebabkan penurunan kestabilan kendaraan secara signifikan. Pada sudut kemudi 20°, kendaraan mengalami simpangan lateral terbesar yaitu 0,85 meter dan risiko terguling meningkat hingga 32% dibandingkan sudut 5°. Hal ini disebabkan oleh perpindahan pusat massa dan meningkatnya gaya sentrifugal saat berbelok di tanjakan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sudut kemudi yang lebih besar pada jalan menanjak dapat menurunkan kestabilan kendaraan ringan dan meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu, disarankan pengemudi kendaraan ringan mengurangi kecepatan dan menghindari sudut kemudi tajam saat melewati jalan menanjak untuk menjaga keselamatan berkendara.

Kata kunci: jalan menanjak, keselamatan, kestabilan, kendaraan ringan, sudut kemudi

Abstract

This study aims to analyze the effect of steering angle on the stability of light vehicles on uphill roads. The method used was simulation experiments and field testing by varying the steering angle at 5°, 10°, 15°, and 20° on a slope with a gradient of 15%. The measured parameters include critical speed, roll angle, and lateral deviation of the vehicle. The results show that an increase in steering angle causes a significant decrease in vehicle stability. At a steering angle of 20°, the vehicle experienced the greatest lateral deviation of 0.85 meters and the risk of rollover increased by up to 32% compared to a 5° angle. This is due to the shift in the center of mass and the increase in centrifugal force when turning on an incline. The conclusion of this study is that a larger steering angle on uphill roads can reduce the stability of light vehicles and increase the potential for accidents. Therefore, it is recommended that drivers of light vehicles reduce speed and avoid sharp steering angles when passing uphill roads to maintain driving safety.

Keywords: light vehicle, steering angle, stability, safety, uphill road

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kendaraan ringan di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan setiap tahunnya. Mobilitas masyarakat yang tinggi menyebabkan banyak kendaraan ringan melewati berbagai kondisi jalan, termasuk jalan menanjak. Jalan menanjak merupakan salah satu kondisi yang rawan terhadap terjadinya kecelakaan lalu lintas, terutama jika pengemudi tidak memperhatikan teknik mengemudi yang benar. Salah satu faktor penting yang memengaruhi kestabilan kendaraan saat melewati jalan menanjak adalah sudut kemudi. Sudut kemudi yang terlalu besar

pada saat berbelok di tanjakan dapat menyebabkan perpindahan pusat massa kendaraan dan meningkatkan gaya sentrifugal. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kendaraan mengalami simpangan lateral bahkan terguling. Data dari Korlantas Polri menunjukkan bahwa kecelakaan di jalan menanjak dan berkelok masih menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan tunggal pada kendaraan ringan. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut kemudi terhadap kestabilan kendaraan ringan di jalan menanjak. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengemudi dan

pembuat kebijakan dalam meningkatkan keselamatan berkendara (Natawibawa, Rahmat and Imron, 2026)(Imron *et al.*, 2025)



Gambar 1. Kendaraan di jalan menanjak

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemudi terhadap kestabilan kendaraan ringan di jalan menanjak?
2. Berapa besar simpangan lateral dan risiko terguling yang terjadi pada berbagai variasi sudut kemudi?
3. Sudut kemudi berapa yang paling aman untuk digunakan pada kondisi jalan menanjak?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi sudut kemudi terhadap kestabilan kendaraan ringan pada jalan menanjak.
2. Mengetahui besarnya simpangan lateral dan risiko terguling pada berbagai variasi sudut kemudi.
3. Menentukan sudut kemudi yang optimal untuk menjaga kestabilan kendaraan ringan di jalan menanjak.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat Teoritis: Menambah kajian ilmu di bidang teknik otomotif dan keselamatan transportasi terkait dinamika kendaraan.

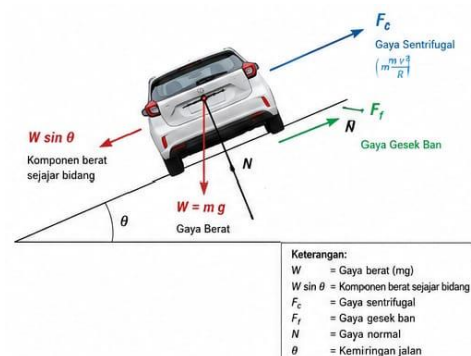
Manfaat Praktis: Memberikan rekomendasi kepada pengemudi kendaraan ringan mengenai teknik mengemudi yang aman di jalan menanjak serta menjadi bahan pertimbangan bagi instansi terkait dalam pembuatan rambu peringatan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kendaraan Ringan

Menurut (Wong, 2008), karakteristik kendaraan ringan dipengaruhi oleh distribusi massa, dimensi kendaraan, serta kondisi ban yang berperan penting terhadap kestabilan kendaraan ketika melakukan manuver di berbagai kondisi jalan. Kendaraan ringan merupakan kendaraan bermotor roda empat yang digunakan untuk mengangkut penumpang maupun barang dengan berat total relatif kecil. Ciri utama kendaraan ringan adalah pusat massanya yang relatif tinggi dibandingkan dengan lebar tapak ban. Hal ini menyebabkan kendaraan ringan lebih rentan terhadap ketidakstabilan saat bermanuver, terutama pada kondisi jalan yang tidak rata seperti jalan menanjak dan berkelok.

2.2 Dinamika Kendaraan



Gambar 2. Sudut kemiringan kendaraan

A. Gaya yang bekerja pada kendaraan di jalan menanjak dan berbelok

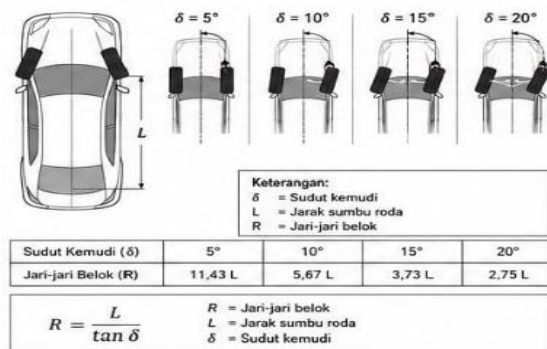
Menurut (Gillespie, 2021; Aditya and Santoso, 2025) menjelaskan bahwa dinamika kendaraan merupakan respons kendaraan

terhadap gaya longitudinal, lateral, dan vertikal yang dipengaruhi oleh karakteristik kendaraan, kondisi jalan, serta masukan dari sistem kemudi. Faktor seperti kecepatan, gaya sentrifugal, gaya gesek ban, dan kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi kestabilan kendaraan saat bermanuver (Hsu and Chen, 2012). gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan selama bergerak (Rahmat, Putra and Sutomo, 2025). Pada saat kendaraan berbelok di jalan menanjak, terdapat beberapa gaya yang memengaruhi kestabilan, yaitu:

1. Gaya Berat: $W = m \times g$
Bekerja ke arah pusat bumi dan dipengaruhi oleh kemiringan jalan
2. Gaya Sentrifugal: $F_c = m \cdot v^2 / R$
Bekerja menjauhi pusat belokan dan sebanding dengan kuadrat kecepatan
3. Gaya Gesek Ban: $F_f = \mu \cdot N$
Menahan kendaraan agar tidak slip ke samping

Menurut (Rajamani, 2012) menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan atau berkurangnya jari-jari belok akan meningkatkan gaya lateral yang bekerja pada kendaraan sehingga potensi kehilangan kestabilan menjadi lebih besar.

2.3 Sudut Kemudi (steering angle)



Gambar 3. Sudut kemudi kendaraan

Sudut kemudi adalah besar sudut roda depan posisi lurus ke depan. Semakin besar sudut kemudi maka jari-jari belok R akan semakin kecil. Hubungan antara sudut

kemudi δ dengan jari-jari belok dapat didekati dengan:

$$R = L / \tan \delta$$

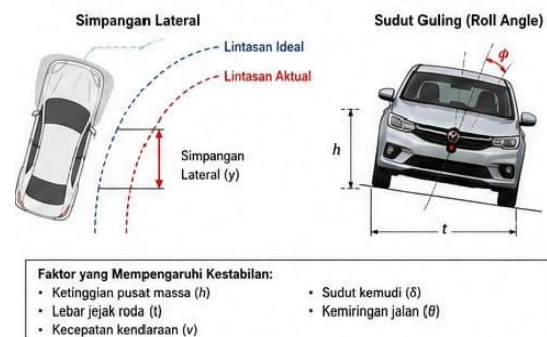
R = Jari-jari belok

L = Jarak sumbu roda

$\tan \delta$ = Sudut kemudi

Menurut (Jazar, 2017) sudut kemudi memiliki hubungan langsung dengan jari-jari belok kendaraan. Semakin besar sudut kemudi, semakin kecil jari-jari belok yang dihasilkan sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan akan meningkat. Pada jalan menanjak, komponen gaya berat sejajar bidang akan menambah beban pada ban belakang dan mengurangi traksi ban depan, sehingga pengaruh sudut kemudi menjadi lebih kritis (Rahmat, Putra and Hermawan, 2025).

2.4 Kestabilan Kendaraan



Gambar 4. Sudut guling kendaraan

Kestabilan kendaraan didefinisikan sebagai kemampuan kendaraan untuk kembali ke kondisi setimbang setelah mendapat gangguan (Rahmat *et al.*, 2026). (Rajamani, 2012) menyatakan bahwa kestabilan kendaraan dipengaruhi oleh posisi pusat massa, kecepatan kendaraan, karakteristik ban, serta respons sistem kemudi (Skurjat, 2025). Kombinasi faktor tersebut menentukan kemampuan kendaraan mempertahankan lintasan ketika berbelok.

Dua parameter utama untuk mengukur kestabilan adalah:

1. **Sudut Guling / Roll Angle:** Semakin besar sudut guling maka risiko terguling semakin tinggi simpangan
2. **Lateral:** Jarak penyimpangan kendaraan dari lintasan yang seharusnya

Faktor yang memengaruhi kestabilan kendaraan saat di tanjakan dan berbelok adalah ketinggian pusat massa, kecepatan, sudut kemudi, dan kemiringan jalan (Rahmat *et al.*, 2026).

2.5 Jalan Menanjak

Jalan menanjak memiliki kemiringan θ yang menyebabkan adanya komponen gaya berat $W \sin \theta$ yang melawan arah gerak kendaraan. Pada saat yang sama, jika kendaraan berbelok maka gaya sentrifugal akan bekerja tegak lurus arah gerak. Kombinasi kedua gaya ini dapat menyebabkan hilangnya traksi dan ketidakstabilan. Menurut (Wong, 2008), jalan menanjak menyebabkan perubahan distribusi beban antara roda depan dan roda belakang sehingga kemampuan kendaraan mempertahankan arah kemudi dapat mengalami penurunan, terutama ketika kendaraan berbelok (Liu *et al.*, 2018).

BAB 3 METODE

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2026. Pengujian simulasi dilakukan di Laboratorium Dinamika Kendaraan, sedangkan pengujian lapangan dilakukan di lintasan uji jalan menanjak dengan kemiringan 15% di daerah Bekasi, Jawa Barat.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Kendaraan uji:

1. Mobil penumpang ringan 1200 kg
2. Software simulasi: CarSim / MATLAB

3. *Simulink Inclinator*: Untuk mengukur kemiringan jalan
4. GPS dan *Accelerometer*: Untuk mengukur kecepatan, sudut guling, dan simpangan lateral
5. Rollbar dan Alat Keselamatan: Untuk keamanan pengujian

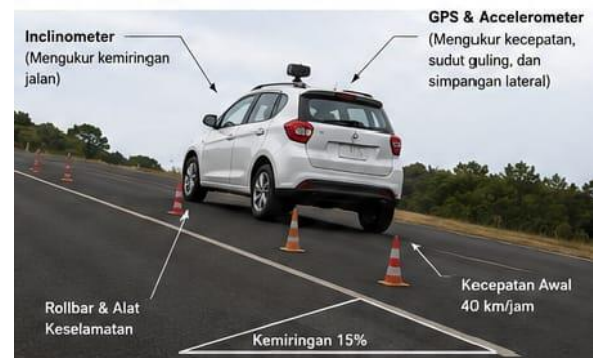
Bahan yang digunakan adalah lintasan uji jalan menanjak dengan permukaan aspal kering.

3.3 Variabel Penelitian

Adapun variable yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Variabel Bebas: Sudut kemudi 5° , 10° , 15° , 20°
2. Variabel Terikat: Simpangan lateral, Sudut guling $[\circ]$, Kecepatan kritis [km/jam]
3. Variabel Kontrol: Kemiringan jalan 15%, Kecepatan awal 40 km/jam, Kondisi ban, Berat kendaraan [m]

3.4 Prosedur Penelitian



Gambar 6. Pengujian kendaraan

3.4.1 Skema pengujian lapangan

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
Melakukan kalibrasi alat ukur dan memastikan kondisi kendaraan dalam keadaan standar. Menentukan lintasan uji dengan kemiringan 15°
2. Tahap Simulasi

Membuat model kendaraan ringan pada software *CarSim*. Menjalankan simulasi dengan memvariasikan sudut kemudi 5°, 10°, 15°, dan 20° pada kecepatan konstan 40 km/jam di jalan menanjak.

3. Tahap Pengujian Lapangan

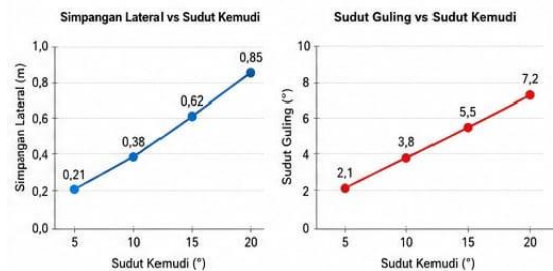
Kendaraan dijalankan pada lintasan uji menanjak dengan kecepatan 40 km/jam. Pengemudi memutar setir sesuai variasi sudut yang ditentukan. Data simpangan lateral dan sudut guling direkam oleh GPS dan *accelerometer*.

4. Tahap Pengolahan Data

Data hasil simulasi dan lapangan dianalisis untuk melihat hubungan antara sudut kemudi dengan kestabilan. Data disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari tabel di bawah dapat dilihat bahwa semakin besar sudut kemudi, maka nilai simpangan lateral dan sudut guling juga semakin besar.



Gambar 7. Grafik simpangan lateral dan sudut guling

4.1 Hubungan sudut kemudi terhadap kestabilan

No	Sudut Kemudi [°]	Simpangan lateral	Sudut Guling [°]	Keterangan
1	5	0,21	2.1	Stabil
2	10	0,38	3.8	Cukup Stabil
3	15	0,62	5.5	Kurang Stabil
4	20	0,85	7.2	Tidak Stabil

4.2 Pembahasan

Dari penelitian dapat diambil beberapa point penting yaitu:

1. Pengaruh Sudut Kemudi terhadap Simpangan Lateral pada sudut kemudi 5°, kendaraan memiliki simpangan lateral terkecil yaitu 0,21 m. Hal ini menunjukkan kendaraan masih berada pada lintasan yang aman. Namun pada sudut kemudi 20°, simpangan lateral meningkat menjadi 0,85 m atau naik 304,76%. Kenaikan ini terjadi karena jari-jari belok mengecil sehingga gaya sentrifugal $F_c = R_m \cdot v^2$ meningkat. Pada jalan menanjak, komponen gaya berat $W \sin \theta$ juga menambah beban sehingga traksi ban berkurang.
2. Pengaruh Sudut Kemudi terhadap Sudut Guling Sudut guling meningkat dari 2,1° pada sudut kemudi 5° menjadi 7,2° pada sudut kemudi 20°. Peningkatan sudut guling ini mengindikasikan perpindahan pusat massa ke sisi luar belokan. Jika sudut guling melebihi batas kritis kendaraan, maka risiko terguling akan sangat tinggi. Temuan ini juga mendukung pendapat (Rajamani, 2012) bahwa perpindahan pusat massa akibat manuver belok dapat meningkatkan sudut guling kendaraan dan memperbesar risiko rollover.
3. Analisis Keselamatan Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemudi di atas 15° pada jalan menanjak dengan kecepatan 40 km/jam sudah masuk kategori "Kurang Stabil". Ini sejalan dengan teori Gillespie yang menyatakan bahwa kombinasi tanjakan dan belokan tajam adalah kondisi paling kritis bagi kestabilan kendaraan ringan.
4. Hasil penelitian ini sejalan dengan teori (Gillespie, 2021) yang menyatakan bahwa peningkatan sudut kemudi akan meningkatkan gaya lateral sehingga kendaraan cenderung mengalami simpangan yang lebih besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa sudut kemudi berpengaruh signifikan terhadap kestabilan kendaraan ringan di jalan menanjak.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan sudut kemudi menyebabkan penurunan kestabilan kendaraan ringan di jalan menanjak. Simpangan lateral dan sudut guling meningkat seiring bertambahnya sudut kemudi
2. Pada sudut kemudi 20° , terjadi peningkatan simpangan lateral sebesar 304,76% dan peningkatan sudut guling sebesar 242,86% dibandingkan sudut 5° .
3. Sudut kemudi yang paling aman untuk digunakan pada jalan menanjak 15% dengan kecepatan 40 km/jam adalah $\leq 10^\circ$.
4. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemudi berbanding lurus dengan peningkatan simpangan lateral dan sudut guling kendaraan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kendaraan menjadi semakin tidak stabil ketika melakukan manuver belok pada jalan menanjak, terutama pada sudut kemudi di atas 15° .

5.2 Saran

Bagi Pengemudi: Mengurangi kecepatan dan menghindari penggunaan sudut kemudi tajam saat melewati jalan menanjak untuk menjaga kestabilan kendaraan.

Bagi Peneliti Selanjutnya: Disarankan untuk menguji pada variasi kecepatan dan kemiringan jalan yang berbeda, serta menambahkan pengujian dengan beban penumpang yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, R. and Santoso, A. (2025) "Predictive Control of Speed, Steering, and Braking for An Autonomous Car on Uphill and Downhill Road," *Jurnal Sistem Komputer*, 17(2), pp. 102–110.

Gillespie, T.D. (2021) *Fundamentals of Vehicle Dynamics.pdf*. R-506. Edited by S. Taheri, C. Sandu, and B.L. Duprey. Warrendale, Pennsylvania: SAE International. Available at: <https://www.sae.org/books/fundamentals-vehicle-dynamics-revised-edition-r-506>.

Hsu, L. and Chen, T. (2012) "Vehicle Dynamic Prediction Systems with On-Line Identification of Vehicle Parameters and Road Conditions," *MDPI*, pp. 15778–15800. Available at: <https://doi.org/10.3390/s121115778>.

Imron, J. *et al.* (2025) "Studi Eksperimental Pengaruh Pelatihan K3 Terhadap Kepatuhan Operator Mesin Di Industri Otomotif," *Jurnal Ekselenta*, 1(2), pp. 3089–2163.

Jazar, R.N. (2017) *Vehicle Dynamics*. 3rd ed. Switzerland: Springer International Publishing AG. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-53441-1>.

Liu, K. *et al.* (2018) "Model Predictive Stabilization Control of High-Speed Autonomous Ground Vehicles Considering the Effect of Road Topography," *MDPI* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/app8050822>.

Natawibawa, M., Rahmat, R. and Imron, J. (2026) *Perpindahan Panas: Pemahaman Dasar & Pendekatan Aplikasinya*. 1st ed. Jakarta: Diva Pustaka. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=b-fEEQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=fQIUfRS9hI&lr&pg=PA194#v=onepage&q&f=false>.

Rahmat *et al.* (2026) "A Systematic



Approach to Reducing Compressor Downtime by 95 . 3 % Within Six Months Toward,” *Engineering Science Letter*, 5(2), pp. 154–159. Available at: <https://doi.org/10.56741/IISTR.esl.002151>.

Rahmat, Putra, D.A. and Hermawan, A. (2025) “Sustainable Urban Farming Rack Design Using Eco Friendly Materials with Variety Load,” *JTEP Jurnal Keteknik Pertanian*, 13(4), pp. 576–594. Available at: <https://doi.org/10.19028/jtep.013.4.576-594>.

Rahmat, R., Putra, D.A. and Sutomo, W. (2025) “SINTEK JURNAL : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Utilizing Environmentally Friendly Materials as Sustainable Urban Vertical Farming Racks with Maximum Load,” *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 19(1), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/sintek.19.2.194-206>.

Rajamani, R. (2012) *Vehicle Dynamics and Control*. 2nd ed. Edited by F.F. Ling. New York: Springer London. Available at: <https://doi.org/DOI 10.1007/978-1-4614-1433-9>.

Skurjat, A. (2025) “The effect of steering axis inclination on the dynamic stability of vehicles with an articulated steering,” *Scientific Reports*, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-81859-01>.

Wong, J.Y. (2008) *Theory of Ground Vehicles*. 5th ed. New Jeraey: Wiley & Sons, Inc. Available at: https://www.amazon.com/Theory-Ground-Vehicles-J-Wong-dp-1119719704/dp/1119719704/ref=dp_ob_title_bk.