

ANALISIS PENGARUH RADIUS KELENGKUNGAN JALAN TOL TERHADAP BATAS KECEPATAN KRITIS

*Azriel Hosea¹, Norman Iskandar², Budi Setiyana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: hoseaazriel@gmail.com

Abstrak

Kendaraan berperan penting dalam mobilitas masyarakat modern, sehingga aspek kenyamanan dan keselamatan menjadi prioritas dalam pemilihan kendaraan. Penelitian ini menganalisis perilaku Low MPV di exit jalan tol perkotaan, menggunakan software Altair Motion View 2022 dan metode *multi-body dynamics*. Variabel penelitian meliputi spesifikasi kendaraan, kecepatan, sudut elevasi, jumlah penumpang, dan kondisi jalan. Variasi kecepatan dilakukan dengan tiga tingkatan untuk menentukan kecepatan kritis kendaraan. Pengujian dilakukan menggunakan metode *constant radius* untuk mengidentifikasi kondisi dinamik, dengan indikator jari-jari putar, sudut kemudi, percepatan lateral, kemiringan, yaw rate, jalur, dan slip kendaraan. Hasil menunjukkan bahwa Low MPV saat dalam keadaan hanya pengemudi terguling pada kecepatan diatas 60 km/h di tol Ungaran dalam keadaan kering ataupun basah, serta pada saat ada penumpang sejumlah 5 orang terguling saat diatas 30 km/h di tol Ungaran karena masih di bawah batas *rollover* dalam keadaan basah ataupun kering.

Kata kunci: *constant radius*; low mpv; kecepatan kritis; sudut elevasi jalan

Abstract

Vehicles play an essential role in modern society's mobility, making comfort and safety top priorities when choosing a vehicle. This study analyzes the behavior of the Low MPV at urban highway exits, using Altair Motion View 2022 software and the multi-body dynamics method. The research variables include vehicle specifications, speed, road elevation angle, passenger count, and road conditions. Speed variations were conducted at three levels to determine the vehicle's critical speed. Testing was carried out using the constant radius method to identify dynamic conditions, with indicators such as turning radius, steering angle, lateral acceleration, vehicle tilt, yaw rate, vehicle path, and slip. Results indicate that, when driven only by the driver, the Low MPV rolls over at speeds exceeding 60 km/h on the Ungaran toll road in both dry and wet conditions. Additionally, with five passengers, it rolls over at speeds above 30 km/h on the Ungaran toll road due to exceeding the rollover threshold in both dry and wet conditions.

Keywords: *critical speed; constant radius; low mpv; road elevation angle*

1. Pendahuluan

Pada Era Industri 4.0, kendaraan berperan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat sehari-hari. Mobil sebagai salah satu kendaraan roda empat banyak dipilih untuk perjalanan dekat maupun jauh. Meningkatnya kebutuhan akan kendaraan roda empat disebabkan oleh tingginya tuntutan akan keamanan dan kenyamanan dalam berkendara, yang memungkinkan masyarakat melakukan perjalanan antar kota dengan lebih mudah dan aman. Desain serta teknologi modern kini semakin ditingkatkan untuk mengurangi risiko kecelakaan dan mendukung kebutuhan mobilitas masyarakat yang terus meningkat [1].

Tidak hanya kendaraan itu sendiri, infrastruktur jalan dan faktor pengemudi juga menjadi aspek penting dalam menjaga keselamatan dan kenyamanan berkendara [2]. Ketiga aspek tersebut saling berkaitan dan berkontribusi dalam mengurangi risiko kecelakaan di jalan. Data dari Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) pada 2023 menunjukkan bahwa 23 persen dari 116.000 kecelakaan melibatkan kendaraan roda empat. Banyak kecelakaan disebabkan oleh kelalaian dalam mengatur kecepatan, yang mengindikasikan perlunya batas kecepatan maksimum dan minimum berdasarkan jenis fungsi jalan, medan, serta penggunaan lahan [3].

Kondisi jalan tol merupakan salah satu infrastruktur penting yang mendukung mobilitas kendaraan bersumbu lebih dari dua, seperti mobil, bus, dan truk. Jalan tol dirancang untuk mempersingkat waktu tempuh dan mengurangi kemacetan antar kota [4]. Namun, ada beberapa ruas tol di Jawa Tengah yang dikenal cukup rawan, terutama pada bagian exit toll. Beberapa exit toll di wilayah Salatiga, Sragen, Ungaran, dan Semarang memiliki radius tikungan yang membutuhkan perhatian khusus dalam dinamika kendaraan untuk mencegah kecelakaan.

Kecelakaan yang sering terjadi di exit toll diakibatkan oleh kondisi slip ketika mobil berada di tikungan. Dalam kondisi ini, kendaraan menghadapi gaya inersia yang berlawanan dengan gaya sentripetal di pusat gravitasi kendaraan. Berdasarkan hukum ketiga Newton, ketika ban menghasilkan gaya yang menarik ke dalam tikungan, massa kendaraan menghasilkan gaya reaksi yang mendorong keluar tikungan. Hal ini memindahkan beban vertikal dari ban dalam ke ban luar, memicu fenomena body roll atau kemiringan mobil saat menikung, yang dapat menyebabkan mobil terguling.

Penelitian ini bertujuan menguji pergerakan kendaraan melalui simulasi menggunakan software Altair Hyperworks 2022 dengan variasi level kecepatan, radius exit toll, muatan, dan kemiringan medan. Dengan adanya variasi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman mengenai pengaruhnya terhadap keselamatan berkendara. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan panduan dalam mencapai efektivitas berkendara yang aman di berbagai kondisi jalan.

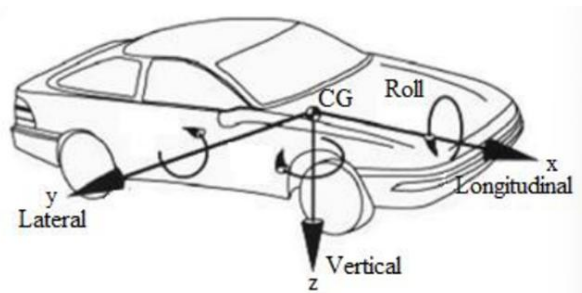
2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

Dasar teori adalah landasan ilmiah yang berisi konsep, prinsip, dan teori yang relevan untuk memahami dan menjelaskan fenomena yang diteliti. Dalam penelitian ini, dasar teori digunakan untuk mendukung hipotesis dan memandu analisis data yang diperoleh. Metode penelitian mencakup langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data guna menjawab pertanyaan penelitian. Metode yang digunakan dapat berupa pendekatan kuantitatif, kualitatif, atau campuran, tergantung pada tujuan dan jenis data yang diperlukan. Pemilihan metode yang tepat sangat penting agar hasil penelitian valid, dapat dipercaya, dan mampu memberikan kontribusi terhadap pemahaman yang lebih mendalam atas masalah yang diteliti.

2.1. Dasar Teori

Simulasi numerik atau simulasi multibody merupakan sistem multibody yang mencakup beragam benda kaku maupun elastis. Batasan kinematik (sejenis sambungan) atau elemen gaya (sejenis peredam gas) dapat mengatur koneksi antar benda. Multibody dynamics (MBD) mendukung semua tahapan dalam siklus pengembangan dinamika – mulai dari tata letak geometri awal hingga penyetelan sistem. Pendekatan Sistem Multibody untuk dinamika kendaraan bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara subjek dinamika kendaraan klasik dan disiplin berbasis komputer bertujuan umum yang dikenal sebagai analisis sistem multibody [5].

Pada dinamika kendaraan terdapat 3 gerakan kendaraan yaitu pitch, yaw, dan roll. Dapat dilihat ilustrasi pada Gambar 1 dibawah ini..

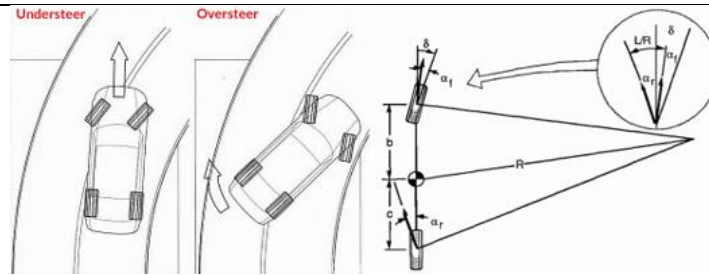


Gambar 1. Koordinat Sistem Axis

Untuk mencapai kondisi menikung, kendaraan harus menghasilkan gaya lateral yang seimbang dengan besar gaya sentrifugal yang dihasilkan. Adapun parameter yang mempengaruhi kendaraan saat menikung adalah [6]:

- Sudut Kemiringan merupakan perpindahan sudut kendaraan terhadap sumbu longitudinalnya, yaitu kecenderungan kendaraan untuk terbalik yang diakibatkan pada saat kendaraan sedang menikung.
- Slip lateral ban adalah sudut yang terbentuk antara arah ban dan arah pergerakannya.
- Jalur Kendaraan merupakan jalur sapuan kendaraan yang mengikuti jalur kemudi yang telah ditentukan. Dalam kondisi yang ditentukan, berdasarkan jalur yang dibuat dapat dilihat sensitivitas kendaraan terhadap kemudi (kondisi *understeer* dan *oversteer*).

Dalam kondisi yang telah ditentukan, sensitivitas kendaraan terhadap kemudi dapat diamati berdasarkan jalur yang dihasilkan. Pengujian menunjukkan adanya kondisi *understeer* dan *oversteer*. Istilah-istilah ini digunakan dalam dinamika kendaraan untuk menggambarkan respons kendaraan terhadap kemudi. *Oversteer* terjadi ketika mobil berbelok lebih tajam daripada yang diperintahkan oleh pengemudi, sedangkan *understeer* terjadi ketika mobil berbelok kurang tajam daripada yang diperintahkan oleh pengemudi [7]. Keadaan *oversteer* dan *understeer* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Jalur Kendaraan

Koefisien *understeer* merupakan besaran yang digunakan untuk menentukan perilaku belok kendaraan. *Understeer indeks* dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 1 dibawah ini.

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{R \cdot g}{V^2} \quad (1)$$

Keterangan :

- K_{us} = Understeer indeks
- α_f = Besar sudut slip roda depan
- α_r = Besar sudut slip roda belakang
- R = Radius belok nyata
- V = Kecepatan belok kendaraan

2.1.1 Kendaraan tergeser dan terguling

Salah satu kasus yang terjadi saat mobil menikung dapat dikategorikan mejadi tergeser dan terguling, hal ini terjadi akibat mobil kehilangan traksi pada ban saat dalam kecepatan tinggi atau ketika gaya sentrifugal mengangkat bagian dalam roda kendaraan. Fenomena tergeser dapat disebut sebagai *understeer* dan *oversteer*. Untuk kasus tergeser rumus yang dapat menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$F > f_{gesek} + W \quad (2)$$

$$m \frac{V^2}{R} > \mu_s N + W \sin \alpha \quad (3)$$

sedangkan pada kasus terguling dapat menggunakan Persamaan 4 dan Persamaan 5,

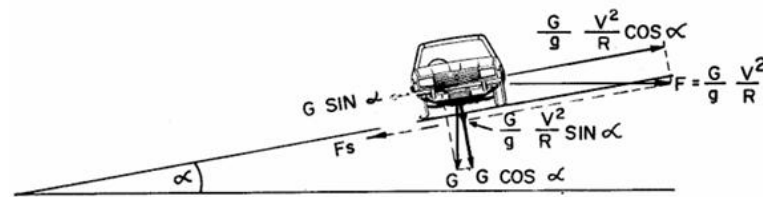
$$h F > f_{gesek} + W \frac{t}{2} \quad (4)$$

$$h m \frac{V^2}{R} \cos \alpha > \mu_s N + W \cos \alpha \frac{t}{2} + W \sin \alpha h \quad (5)$$

Keterangan:

- m = massa (kg)
- g = gaya gravitasi (m/s^2)
- a = percepatan sentrifugal (m/s^2) = V^2/R
- V = kecepatan kendaraan (m/s)
- W = gaya berat (N)
- μ_s = koefisien gesek
- t = lebar tapak mobil (m)
- h = tinggi pusat massa mobil (m)

Jika sebuah kendaraan bergerak dengan kecepatan tetap V pada permukaan datar atau miring mengikuti lintasan melengkung seperti lingkaran, oleh karena itu pada kendaraan tersebut bekerja gaya kecepatan V serta gaya sentrifugal F . Gaya sentrifugal ini mendorong kendaraan secara radial menjauhi lintasannya, tegak lurus terhadap gaya kecepatan V , dan menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengemudi. Gaya-gaya yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gaya-gaya pada kendaraan

Jadi, pada kasus tergeser gaya sentrifugal yang terjadi lebih besar dari pada gaya sentripetal, sedangkan pada kasus terguling momen gaya yang dihasilkan oleh gaya sentrifugal pada pusat massa kendaraan melebihi gaya yang dihasilkan oleh berat mobil.

2.2. Diagram Alir

Dalam penelitian ini terdapat langkah-langkah pemodelan dan pengujian model kendaraan yang mengacu pada diagram alir. Proses dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami konsep yang diperlukan. Setelah itu, data yang relevan dikumpulkan sebagai dasar pengembangan model. Kemudian, model kendaraan dibuat menggunakan perangkat lunak Altair Hyperworks 2022.

Setelah model dibuat, dilakukan konfigurasi model dan input parameter kendaraan secara menyeluruh. Selanjutnya, dilakukan pengujian menggunakan metode *Constant Radius Analysis* untuk memeriksa performa kendaraan pada lintasan dengan radius tetap. Kecepatan kendaraan diatur, dan kondisi medan jalan dimasukkan, baik dalam kondisi basah maupun kering.

Jika model kendaraan berhasil menjalani pengujian tanpa *error* (tanpa proses *run* terhenti atau gagal menghasilkan output), maka proses dilanjutkan. Jika tidak, dilakukan pengaturan ulang pada konfigurasi atau parameter model.

Jika berhasil, data dari pengujian dianalisis untuk mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Hasil analisis kemudian dirangkum dalam kesimpulan, dan proses penelitian diakhiri dengan penyelesaian.

2.3. Perancangan Model Kendaraan

Model kendaraan yang digunakan dalam perancangan suspensi yaitu Toyota Veloz seperti pada Gambar 4. Mobil ini dipilih sebagai referensi karena banyaknya pengguna dari mobil ini di Indonesia dan ketersediaan informasi mengenai spesifikasi untuk mobil ini. Perancangan desain model menggunakan Altair MotionView 2022 dengan pendekatan sesuai dimensi kendaraan [8]. Gambar Toyota Veloz ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mobil Toyota Avanza Veloz

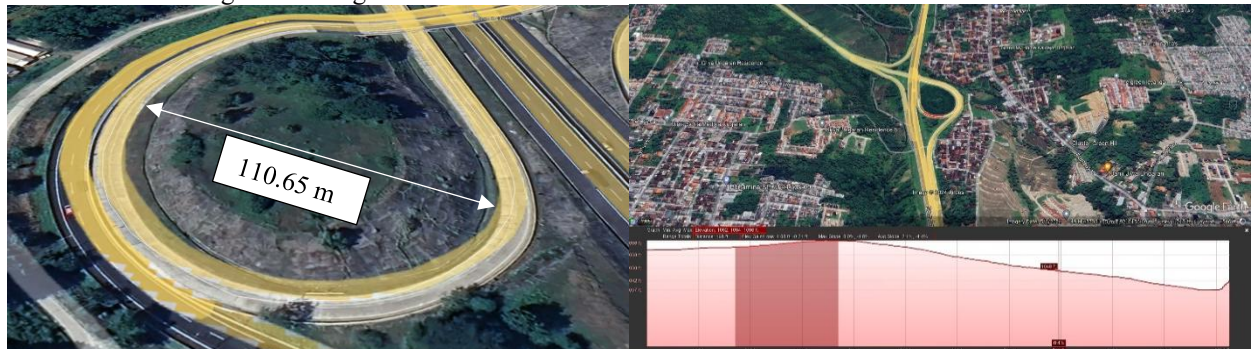
Pemodelan sistem spesifikasi kendaraan ditujukan untuk pengerjaan simulasi *multibody dynamics* (MBD) melalui pengujian *constant radius analysis* untuk melihat perilaku kendaraan pada kondisi lintasan yang menikung [9]. Hasil pemodelan Toyota Veloz dengan data spesifikasi yang telah diperoleh seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Toyota Veloz

Spesifikasi	Keterangan
Tipe penggerak	Penggerak roda belakang (RWD)
Berat kotor kendaraan, kg	1125
Wheelbase, mm	2,750
Suspensi depan dan belakang	MacPherson dengan 4-link lateral rod
Jenis Ban	195/60 R16
Spring rate, N/mm	Depan: 21, belakang: 25 (N/mm)
Koefisien peredaman, Ns/mm	16 Ns/mm

2.4. Model Jalan Tol Ungaran

Untuk model dari jalan yang digunakan adalah dari jalan Tol Ungaran dikarenakan salah satu jalan tol di Jawa tengah yang cukup sering dilalui oleh kendaraan-kendaraan lintas kota, dan secara dari radius pada tikungan tol Ungaran salah satu yang memiliki radius tikungan yang terbesar sehingga layak untuk dijadikan variable medan penelitian. Berikut adalah Gambar 5 mengenai tol Ungaran.



Gambar 5. Tol Ungaran

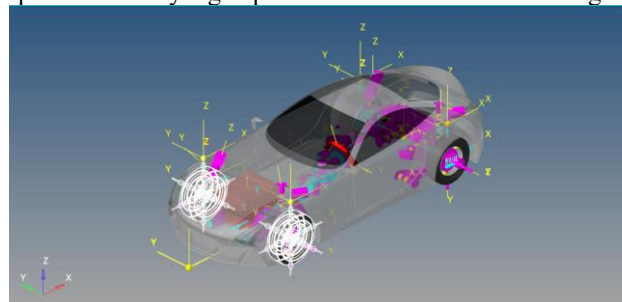
2.5. Constant Radius Analysis

Pengujian menggunakan *Constant Radius Analysis* dikarenakan simulasi penelitian berada pada tikungan jalan yang memiliki variasi radius yang berbeda, adanya variasi kecepatan kendaraan ketika melalui lintasan, kendaraan yang memiliki variasi kuantitas penumpang dalam kendaraan, dan variasi dengan perbedaan kelembapan pada kondisi jalan. Variasi ini dibuat untuk menganalisa pengaruh kecepatan mobil saat menikung terhadap perilaku kendaraan mobil pada lintasan yang ada [10]. Pada pengujian ini dibuat 4 variasi yang menentukan pengujian yaitu kecepatan, model jalan, jumlah penumpang dan kondisi jalan. Variasi yang diujikan dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 2. Variasi kecepatan mobil

Variasi	Kecepatan (km/jam)	Model (Radius, m)	Jumlah Penumpang	Jumlah Kondisi
Variasi 1	50	Tol Ungaran (110.65)	Driver (1)	Kering
			Full Capacity (5)	Basah
Variasi 2	60		Driver (1)	Kering
			Full Capacity (5)	Basah
Variasi 3	70		Driver (1)	Kering
			Full Capacity (5)	Basah

Pemodelan dan konfigurasi berdasarkan spesifikasi kendaraan Toyota Veloz serta variasi dimasukkan ke Altair motion view 2022 untuk mendapatkan model yang dapat disimulasikan saat menikung ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Toyota Avanza Veloz

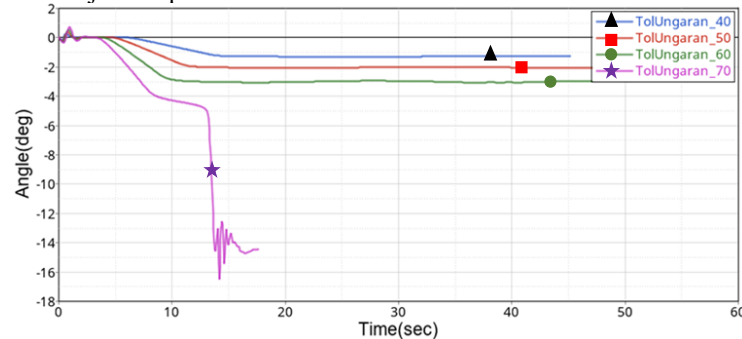
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian merupakan bagian yang menyajikan temuan-temuan utama dari data yang telah dikumpulkan dan dianalisis. Pada tahap ini, data disajikan dalam bentuk yang terstruktur, seperti tabel, grafik, atau deskripsi, sehingga memudahkan pembaca memahami informasi yang diperoleh. Temuan ini biasanya mencakup jawaban dari pertanyaan penelitian, pengujian hipotesis, atau perbandingan antara variabel-variabel yang diteliti. Selain itu, hasil penelitian juga dapat mengungkap pola, hubungan, atau perbedaan yang signifikan antara variabel, yang nantinya menjadi dasar bagi

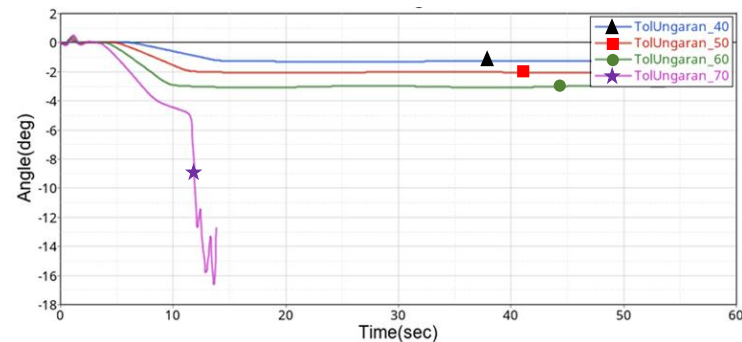
pembahasan dan interpretasi lebih lanjut. Hasil penelitian ini berperan penting dalam menentukan apakah tujuan penelitian tercapai serta dalam memberikan landasan bagi rekomendasi atau implikasi praktis yang diusulkan.

3.1. Analisis Sudut Kemiringan

Hasil dari pengujian *constant radius analysis* saat hanya pengemudi dengan memperbandingkan sudut kemiringan terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 3.



(a)



(b)

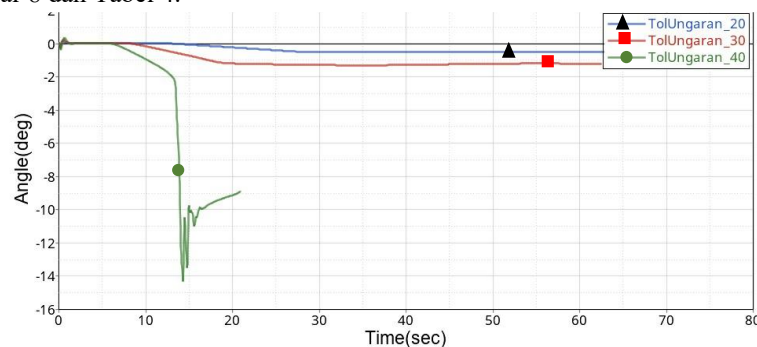
Gambar 7. Grafik sudut kemiringan (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

Tabel 3. Analisis sudut kemiringan

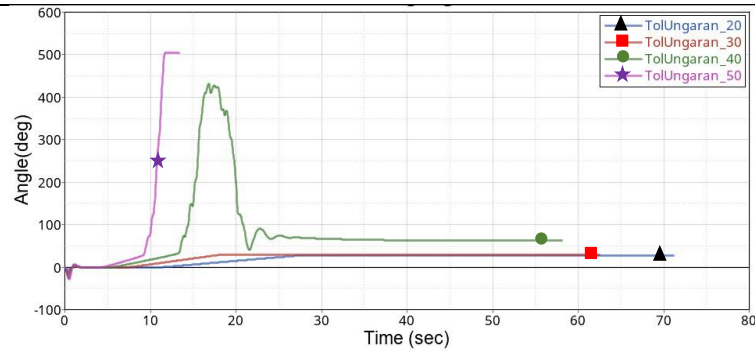
		Sudut Kemiringan (°)			
Max	Kecepatan	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
	Kondisi Kering	-1.20	-2	-3.10	-16.90
	Kondisi Basah	-1.20	-2	-3.10	-16.90

Sudut kemiringan yang dihasilkan pada saat menikung kecepatan 40 km/h sampai dengan kecepatan 60 km/h lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan 70 km/h. Dimana kecepatan 40 km/h sampai kecepatan 60 km/h mengalami bermanuver dimulai pada detik ke-5 dengan sudut kemiringan mencapai dari -1.20 derajat sampai -3.10 derajat yang mengalami perilaku *body roll* yang lebih kecil. Pada kecepatan 70 km/h mengalami sudut kemiringan terbesar yaitu -16.90 derajat pada detik ke-14 yang mengakibatkan limbungnya kendaraan sehingga tergeser.

Untuk hasil dari pengujian saat ada penumpang dengan memperbandingkan sudut kemiringan terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 4.



(a)



(b)

Gambar 8. Grafik sudut kemiringan (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

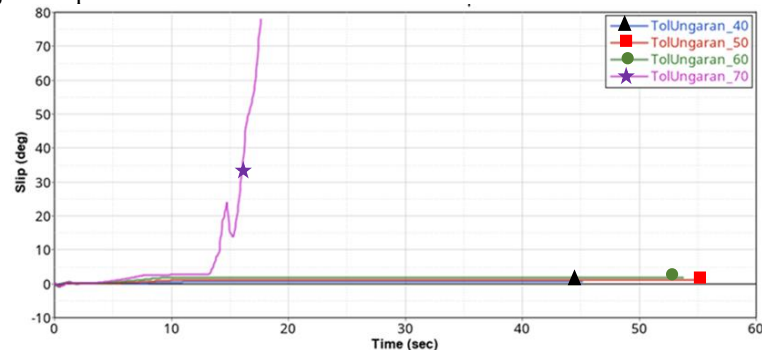
Tabel 4. Analisis sudut kemiringan

		Sudut Kemiringan (°)			
	Kecepatan	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Max	Kondisi Kering	-0.35	-1.20	-14.25	-
	Kondisi Basah	0.35	1.20	40	50

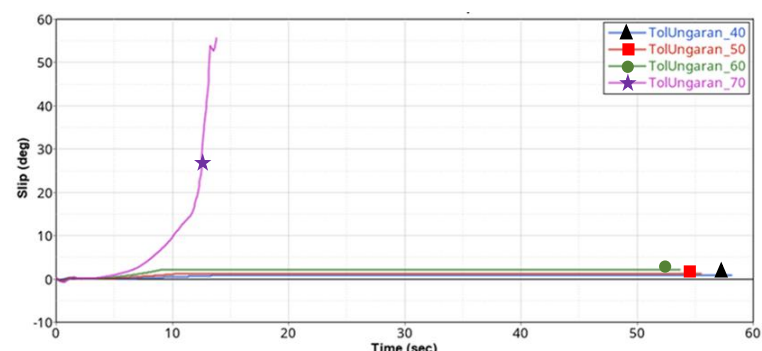
Sudut kemiringan yang dihasilkan pada saat menikung kecepatan 20 km/h sampai dengan kecepatan 30 km/h lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan 40 km/h dan 50 km/h saat keadaan basah. Dimana kecepatan 20 km/h sampai kecepatan 30 km/h mengalami bermanuver dimulai pada detik ke-5 dengan sudut kemiringan mencapai dari -0.30 derajat sampai -1.20 derajat yang mengalami perilaku *body roll* yang lebih kecil. Pada kecepatan diatas 40 km/h mengalami sudut kemiringan terbesar pada detik ke-14 yang mengakibatkan limbungnya kendaraan sehingga tergeser bahkan terguling saat diatas 50 km/h.

3.2. Analisis Slip Lateral Ban

Hasil dari pengujian *constan radius analysis* dengan memperbandingkan slip lateral ban terhadap waktu saat hanya pengemudi ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 5.



(a)



(b)

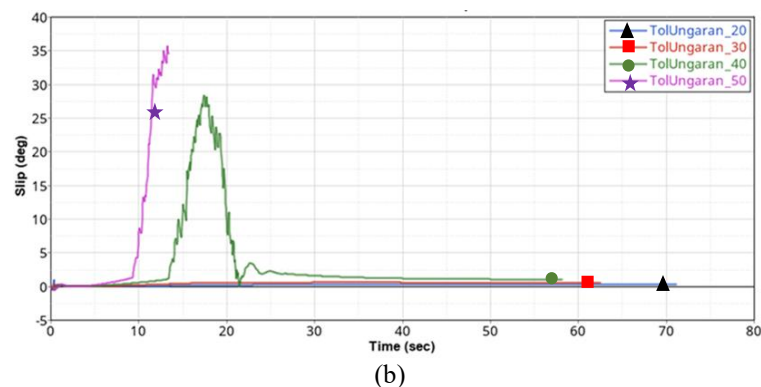
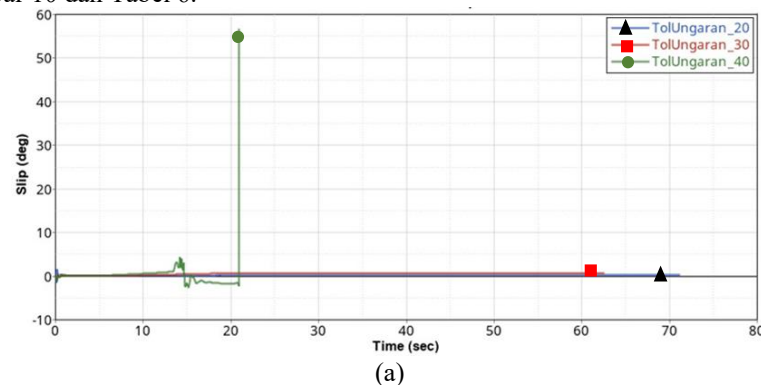
Gambar 9. Slip lateral ban (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

Tabel 5. Analisis slip lateral ban

		Slip lateral ban (°)			
Max	Kecepatan	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
	Kondisi Kering	2.30	3.10	6.25	55
	Kondisi Basah	2.30	3.10	6.25	55

Dari grafik dan tabel di atas menunjukkan pada kecepatan 70 km/h tidak mampu mempertahankan percepatan lateralnya sehingga sudut *slip* yang terjadi sangat besar. Pada kecepatan 70 km/h memiliki sudut *slip* yang paling besar yang lebih beresiko mengalami perilaku *understeer*. Sedangkan kecepatan 40 km/h merupakan kecepatan yang paling aman karena memiliki sudut *slip* terkecil sebesar 2.30 derajat, dengan percepatan lateral yang lebih stabil sehingga kendaraan mampu mempertahankan kondisi putarannya saat diuji.

Untuk hasil dari pengujian saat ada penumpang dengan memperbandingkan slip lateral ban terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 10 dan Tabel 6.



Gambar 10. Slip lateral ban (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

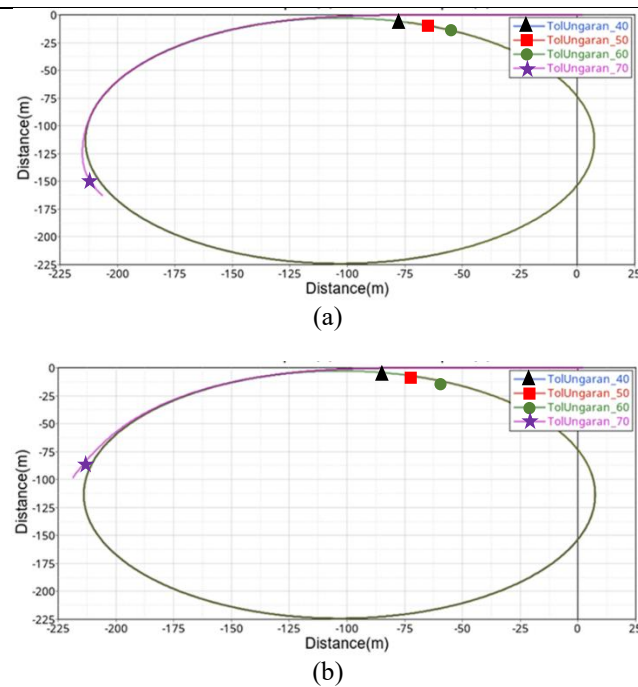
Tabel 6. Analisis slip lateral ban

		Slip lateral ban (°)			
Max	Kecepatan	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	Kondisi Kering	1.15	2.10	57	-
	Kondisi Basah	1.15	2.10	28	36

Dari grafik dan tabel di atas menunjukkan pada kecepatan 40 km/h dan 50 km/h tidak mampu mempertahankan percepatan lateralnya sehingga sudut *slip* yang terjadi sangat besar. Pada kecepatan diatas 40 km/h memiliki sudut *slip* yang besar yang lebih beresiko mengalami perilaku *understeer*. Sedangkan kecepatan 20 km/h merupakan kecepatan yang paling aman karena memiliki sudut *slip* terkecil sebesar 1.15 derajat, dengan percepatan lateral yang lebih stabil sehingga kendaraan mampu mempertahankan kondisi putarannya saat diuji.

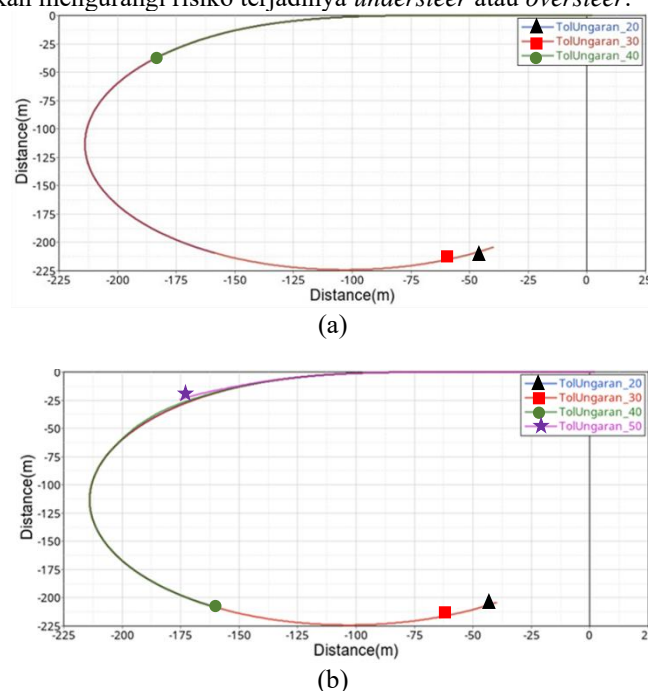
3.3. Analisis Jalur Kendaraan

Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa variasi kecepatan dalam keadaan hanya pengemudi memengaruhi kemampuan kemudi dalam mempertahankan sudut roda, di mana batas kecepatan aman maksimum untuk melakukan manuver berbelok sesuai dengan radius lintasan adalah 40 km/h, 50 km/h, dan 60 km/h; pada kecepatan 70 km/h mobil mengalami *understeer*. Semakin tinggi kecepatan, semakin besar kemungkinan terjadinya *understeer* atau *oversteer*, sedangkan semakin besar radius putar akan mengurangi risiko terjadinya *understeer* atau *oversteer*.



Gambar 11. Grafik jalur kendaraan (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

Sedangkan pada Gambar 12 menunjukkan bahwa variasi kecepatan saat adanya penumpang memengaruhi kemampuan kemudi dalam mempertahankan sudut roda, di mana batas kecepatan aman maksimum untuk berbelok sesuai dengan radius lintasan adalah 20 km/h, 30 km/h, dan 40 km/h, sedangkan pada kecepatan 50 km/h mobil mengalami *understeer*. Semakin tinggi kecepatan, semakin besar kemungkinan terjadinya *understeer* atau *oversteer*, sementara semakin besar radius putar akan mengurangi risiko terjadinya *understeer* atau *oversteer*.



Gambar 12. Grafik jalur kendaraan (a) kondisi kering dan (b) kondisi basah

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan judul “Analisis Pengaruh Radius Kelengkungan Jalan Tol Terhadap Batas Kecepatan Kritis” diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan perancangan desain suspensi pada mobil Toyota Veloz, melalui pengujian saat kendaraan sedang beroperasi terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap *body roll* dari mobil. Parameter yang dibahas antara lain sudut kemiringan, slip lateral ban, dan jalur kendaraan.

2. Pada penelitian ini dilakukan dengan pemodelan *full vehicle* melalui *Assembly Wizard* pada software Altair motionview 2022, dengan menggunakan acuan spesifikasi mobil Toyota Veloz menyesuaikan spesifikasi serta parameter variasi radius putaran pada tol Ungaran diikuti koefisien gesek jalan dalam kondisi kering dan basah serta berat penumpang dengan jalan dari beton.
3. Dari hasil penelitian didapatkan pengaruh variasi kecepatan terhadap kemiringan jalan adalah :
 - Pada pengujian *constant radius analysis* disimpulkan bahwa tinggi kecepatan maka semakin besar sudut kemiringan yang dihasilkan dan slip lateral ban semakin besar.
 - Pada pengujian dengan variasi kondisi jalan yang basah dan kering disertai dengan perbedaan kapasitas kendaraan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka gangguan *understeer* yang terjadi semakin besar sehingga mobil sangat sulit dikendalikan saat bermanuver.
4. Setelah dilakukan beberapa variasi melalui data pengujian maka dapat disimpulkan kecepatan teraman adalah kendaraan yang dipacu dengan kecepatan dibawah 70 km/h saat hanya pengemudi dan kecepatan maksimal 40 km/h saat keadaan dengan adanya penumpang serta gangguan *understeer* yang terjadi paling kecil dan lebih aman dibandingkan dengan kecepatan diatasnya.
5. Keadaan pada mobil dengan hanya ada pengemudi di tol Ungaran kondisi kendaraan tergeser dan tidak terguling sampai kecepatan 60 km/h dan saat ada penumpang 30 km/h karena masih dibawah batas *rollover* dalam keadaan basah dan kering.

5. Daftar Pustaka

- [1] Firlana, E., Firdan Al Hadi, Alfiana Nurcahyani, H., & Devi Dwipayana, A. (2023). Pengaruh Cruise Control Terhadap Keselamatan Berkendara Di Jalan Tol. In Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi (Vol. 10, Issue 2)..
- [2] Schwarz, C., Gaspar, J. & Brown, T. (2019) The effect of reliability on drivers' trust and behavior in conditional automation. *Cogn Tech Work* 21, 41–54.
- [3] Mauliza, R. I., Sabrina, Tania Bonita., Maulana, Wahyu (2019). Pelanggaran Kecepatan Kendaraan pada Ruas Jalan Tol Cipularang. *Jurnal Teknik Sipil*
- [4] Zulman, D., Putra, S. A., Abrar, A., Studi, P., Sipil, T., Tinggi, S., Dumai, T., Utama, J., Bukit, K., & Ii, B. (2022). Efektifitas Jalan Tol bagi Moda Transportasi Kota Dumai (Studi Kasus: Angkutan Travel PT Karya Maju Express). In & Aidil Abrar 3 *JURNAL SLUMP TeS* (Vol. 1, Issue 1).
- [5] M Abe, W. Manning. (2009) *Vehicle Handling Dynamics Theory and Application*, Page 5-46. Buittenwoth Heinemann.
- [6] Bakwill J., (2018). *Performance Vehicle Dynamics Engineering and Application*. Buttemnoth Heinemann. ISBN 978-0-12-812693-6
- [7] Prasitiyo W, Fiebig W. (2021) *Multibody Simulation and Statical Comparison of The Linear and Profressive Rate Double Wishbone Suspension Dynamical Behavior*. Elsevier Vol. 120, pp 13-17.
- [8] Altair, (2022). "Motionview 10.0 User's Giude," Altair Engineering. Inc.
- [9] Abe, Masato. (2015). *Vehicle Handling Dynamics*. Second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [10] Zhao Leilei, dkk. (2020). *Truck Handling Stability Simulation and Comparison of Taper-Leaf and Multi-Leaf Spring Suspension with The Same Vertical Stiffness*. Article *Applied Science*, Vol 10.