

## ANALISIS PERFORMA SUSPENSIB MOBIL SEDAN PADA SAAT *CORNERING* MELALUI METODE *MULTIBODY DYNAMICS* (MBD)

\*Hendrianto<sup>1</sup>, Ismoyo Haryanto<sup>2</sup>, Toni Prahasto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: [hndrianto9@gmail.com](mailto:hndrianto9@gmail.com)

### Abstrak

Perkembangan teknologi pada dunia otomotif semakin berkembang, salah satunya yang sering dikembangkan adalah sistem suspensi pada kendaraan. Suspensi adalah sebuah alat untuk menopang kendaraan dan memberikan efek kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Sistem suspensi memiliki peredam kejut (*dampers*) yang berfungsi memberikan efek kenyamanan bagi pengguna. Efek keamanan dari sistem suspensi didapatkan karena menjaga agar roda selalu berada tepat di jalan, sehingga tidak akan membahayakan pengemudi dan penumpang karena terjadinya slip pada roda dapat diminimalkan atau membantu roda agar selalu menapak pada jalan. *Multibody Dynamics* (MBD) simulation merupakan salah satu metode untuk menguji kinematika dan dinamika dari rancangan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian MBD dengan metode pengujian *Kinematic and Compliance* dan *Constant Radius Analysis*. Model kendaraan yang dijadikan referensi pada penelitian ini adalah mobil sedan Honda Civic FD. Berdasarkan pengujian *kinematic and compliance* pada sistem kemudi depan didapatkan data yang terdiri dari *vertical load*, *toe angle*, *camber angle*, *caster angle* serta *steering angle* dalam dan luar dari mobil yang masing-masing  $25.6^\circ$  dan  $24.6^\circ$ . Penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengujian *constant speed constant radius* (CSCR) dengan memperhitungkan radius putar minimum yang memungkinkan pada kendaraan berdasarkan geometri *steering ackerman*. Pengujian *constant speed constant radius* mendapatkan kondisi dinamik dari mobil sedan yang terdiri dari *turning radius*, *steering wheel angle*, *lateral acceleration*, *vehicle roll*, *vehicle yaw rate*, *vehicle path*, *vehicle slip*. Dari pengujian didapatkan kecepatan terbaik pada radius putaran 5.9 m yaitu 20 km/h dengan kondisi mendekati kondisi *perfect steering* pada turning radius minimum, pada radius putaran 10 m didapatkan kecepatan terbaik yaitu 25 km/h dan pada radius putaran 15 m didapatkan kecepatan terbaik yaitu 30 km/h.

**Kata kunci:** *cornering mbd; constant speed constant radius simulation; honda civic fd; kinematic and compliance; mobil sedan*

### Abstract

Technological developments in the automotive world are growing, one of which is often developed is the suspension system on vehicles. Suspension is a tool to support the vehicle and provide the effect of comfort and safety in driving. The suspension system has shock absorbers (*dampers*) which function to provide a comfortable effect for the user. The safety effect of the suspension system is obtained because it keeps the wheels always right on the road. *Multibody Dynamics* (MBD) simulation is a method for testing the kinematics and dynamics of a design. In this research, MBD testing was carried out using the *Kinematic and Compliance* and *Constant Radius Analysis* testing methods. The vehicle model used as a reference in this research is the Honda Civic FD sedan. Based on *kinematic and compliance* testing on the front steering system, data was obtained consisting of *vertical load*, *toe angle*, *camber angle*, *caster angle* and the inside and outside steering angles of the car, which were  $25.6^\circ$  and  $24.6^\circ$  respectively. The research continued by testing *constant speed constant radius* (CSCR) by calculating the minimum possible turning radius of the vehicle based on the *Ackerman steering geometry*. *Constant speed constant radius* testing obtains the dynamic conditions of a sedan car which consists of *turning radius*, *steering wheel angle*, *lateral acceleration*, *vehicle roll*, *vehicle yaw rate*, *vehicle path*, *vehicle slip*. From the test, the best speed was obtained at a turning radius of 5.9 m, namely 20km/h with conditions approaching perfect steering conditions at the minimum turning radius, at a turning radius of 10 m the best speed was 25km/h and at a turning radius of 15 m the best speed was 30km/h.

**Keywords:** *cornering mbd; constant speed constant radius simulation; honda civic fd; kinematic and compliance; sedan cars*

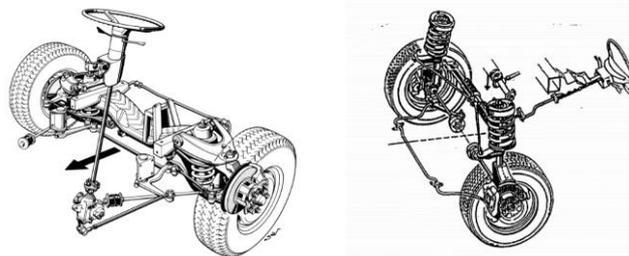
## 1. Pendahuluan

Suspensi adalah sebuah alat untuk menopang kendaraan dan memberikan efek kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Sistem suspensi memiliki peredam kejut (*damper*) yang berfungsi memberikan efek kenyamanan bagi pengguna. Efek keamanan dari sistem suspensi didapatkan karena menjaga agar roda selalu berada tepat di jalan, sehingga tidak akan membahayakan pengemudi dan penumpang karena terjadinya slip pada roda dapat diminimalkan atau membantu roda agar selalu menapak pada jalan [1]. Satu unit sistem suspensi pada kendaraan pada umumnya terdiri atas sebuah pegas dan sebuah peredam kejut yang terdiri dari besaran masa, gaya yang bekerja pada pegas dan konstanta pegas dan peredam kejut. Terdapat banyak jenis dan model sistem suspensi yang terdapat pada kendaraan. Ada sistem suspensi yang menggunakan pegas daun (*per*) sampai sistem suspensi yang menggunakan *coil spring* (pegas ulir). Sistem suspensi pada kendaraan sangat penting untuk diperhatikan. Ketika ada salah satu bagian suspensi yang rusak, selain kendaraan menjadi tidak seimbang, permasalahan tersebut akan mengakibatkan ketidaknyamanan bagi pengemudi dan penumpang, permasalahan itu juga dapat merusak bagian-bagian lain dari kendaraan [2]. Sistem suspensi dan rangka juga harus memposisikan roda dan ban dengan benar untuk memastikan umur ban normal dan pengendalian kemudi yang baik. Jika sistem suspensi tidak memposisikan setiap roda dan ban dengan benar, sudut penyelarasan roda tidak tepat dan biasanya menyebabkan keausan tapak ban yang berlebihan. Posisi roda dan ban yang tidak tepat juga dapat menyebabkan kemudi tertarik ke satu sisi. Jika sistem suspensi memposisikan roda dan ban dengan benar, kemudi harus tetap berada pada posisi lurus ke depan jika mobil dikendarai lurus ke depan pada permukaan jalan yang cukup lurus dan mulus. Namun, jika posisi roda dan ban tidak tepat, kemudi dapat menjadi tidak menentu, dan diperlukan tenaga kemudi yang berlebihan untuk mempertahankan kemudi pada posisi lurus ke depan [3].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Suspensi

Suspensi mobil berfungsi untuk menjaga mobil tetap terkendali dan membuat nyaman kendaraan. Secara khusus, sistem suspensi memaksimalkan gesekan antara ban dengan jalan untuk memberikan stabilitas kemudi dan handling yang baik. Sistem suspensi juga berfungsi untuk meminimalisir dampak dari kondisi jalan tertentu tidak hanya kendaraan, tetapi juga penumpang yang berada di dalam [4]. Pada suspensi *independent* dapat dilihat pada Gambar 1, masing-masing pada roda kiri dan kanan bergerak bebas (*independent*). Kedua roda dapat bergerak secara bebas tanpa saling mempengaruhi. Biasanya suspensi model *independent* digunakan pada roda depan dan belakang mobil penumpang. Perbedaan besar antara suspensi depan dan belakang disebabkan roda depan dapat membelok ketika kendaraan membelok atau melalui jalan yang tidak rata, roda-rodanya menerima gaya dari permukaan jalan [5].



Gambar 1. Jenis suspensi *double wishbone* dan *mcpherson strut* [6]

Pada saat sistem suspensi beroperasi, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi performa yaitu :

- Steering wheel angle* merupakan sudut kemudi kendaraan dibagian depan dan arah roda kemudi kendaraan [7].
- Lateral acceleration* merupakan gaya yang melempar mobil penumpang menyamping pada saat melakukan pembelokan.
- Roll angle* merupakan gerakan mobil terhadap sumbu longitudinal, menyebabkan perindahan berat dari dalam ke sisi luar mobil. Sehingga roll angle ini yang menentukan seberapa besar suatu mobil mengalami limbung.
- Yaw rate* merupakan laju perubahan sudut arah kendaraan yang diukur dalam derajat/detik rotasi terhadap sumbu vertikal melalui pusat gravitasi kendaraan. Ketika kendaraan membelok, akan ada percepatan yang dialami pada saat berotasi. Saat berada di sudut kondisi *steady*, laju yaw akan menjadi konstan, dan kita akan melihat mobil berputar dengan kecepatan sudut konstan [8]
- Vehicle Path* merupakan jalur sapuan kendaraan yang mengikuti jalur kemudi yang telah ditentukan. Jalur sapuan kendaraan digunakan dalam desain jalan untuk memeriksa bahwa ada ruang yang cukup untuk membelokkan kendaraan agar dapat beroperasi dengan aman di jaringan jalan dan untuk menghindari kerusakan pada perabotan tepi jalan.

### 2.2 Multibody Dynamics Simulation

Simulasi *multibody* adalah metode simulasi numerik di mana sistem *multibody* terdiri dari berbagai benda kaku atau elastis. Sambungan antar benda dapat dimodelkan dengan batasan kinematik (seperti sambungan) atau elemen gaya

(seperti peredam pegas). Simulasi MBD dengan benda tegar dan benda fleksibel dilakukan dengan mempertimbangkan material generik dan sifat inersia menggunakan *MotionSolve*. Perangkat lunak *HyperMesh* dan *MotionView* digunakan untuk pra-pemrosesan. *HyperView* dan *HyperGraph* digunakan untuk pasca-pemrosesan. Perangkat lunak *Altair Hyperworks* digunakan untuk bandingkan hasil bodi lenturnya [9].

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Perancangan Model Kendaraan

Model kendaraan yang dipakai dalam penelitian ini adalah mobil Honda Civic FD 1 seperti pada Gambar 2. Perancangan desain model kendaraan menggunakan *software altair motionview 2019* dengan menggunakan pendekatan dari desain aslinya. Pada pengujian yang digunakan yaitu memvariasikan kecepatan dan putaran radius dengan tujuan untuk mengetahui batas aman kecepatan saat mobil melakukan *cornering*.



Gambar 2. Honda Civic FD 1 [10]

Tabel 1 Data Variasi *constant radius constant speed simulation*

No	Variasi	Kecepatan
1	Variasi 1	10 km/h
2	Variasi 2	20 km/h
3	Variasi 3	30 km/h
4	Variasi 4	40 km/h

Tabel 2 Data Variasi Radius Putaran

No	Variasi	Radius Putar
1	Variasi 1	5.9 m
2	Variasi 2	10 m
3	Variasi 3	15 m

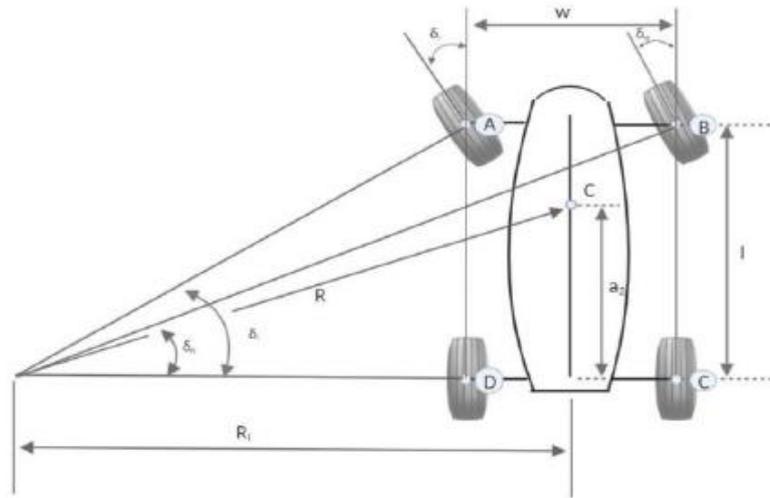
#### 3.2 Pengujian *Kinematic and Compliance Test (KNC)*

Pengujian *kinematic and compliance* adalah pengujian perilaku sistem suspensi dengan kondisi yang ditentukan terhadap waktu. Pengujian dilakukan pada model keseluruhan suspensi mobil Honda Civic FD dengan sistem suspensi *mcpherson strut* dan *double wishbonne*. Sebelum melakukan pengujian dilakukan konfigurasi parameter pengujian untuk menentukan kondisi yang dialami sistem pada saat pengujian. Sebelum melakukan pengujian diperlukan konfigurasi data sesuai dengan perilaku yang ingin diberikan pada sistem. Data konfigurasi kemudian di-input dalam *Task Wizard* pada menu *Analysis software Altair MotionView 2019*.

#### 3.3 Pengujian *Constant Radius Analysis*

Pengujian ini memungkinkan simulasi pada keseluruhan bodi mobil sedan yang mencakup simulasi perilaku kendaraan pada saat melalui lintasan memutar dengan radius dan kecepatan yang telah ditentukan. Hasil *test* yang diberikan menyajikan kondisi bodi kendaraan dan perilaku sistem secara utuh berdasarkan komponen yang pada mobil

sedan. Simulasi yang dilakukan berupa *task* dan lintasan yang menyajikan kondisi dan perilaku mobil pada *track* yang dibuat. Tahapan awal pengujian adalah pemilihan *task* pada menu *task wizard*. Tipe *analysis* yang diberikan pada pengujian adalah *constant radius*.



**Gambar 3.** Kondisi Geometri Kemudi Ackerman [11]

Dalam penelitian *multibody dynamics* (MBD) dilakukan pengujian perilaku mobil sedan pada sebuah lintasan. Pemodelan lintasan yang dilalui mobil sedan didapatkan melalui perhitungan *turning radius* berdasarkan persamaan kinematik *Ackerman*. Berdasarkan pengujian yang didapat melalui *kinematic and compliance analysis*, didapatkan data sebagai berikut:

- *Inner Steering Angle*  $\delta_i = 25.6^\circ$
- *Outer Steering Angle*  $\delta_o = 24.6^\circ$

Sebelum melakukan *run* simulasi *constant radius analysis* untuk mengetahui radius putaran pada lintasan harus menghitung terlebih dahulu dengan menggunakan spesifikasi mobil Honda Civic FD didapatkan nilai berikut:

- *Track Width* = 1505 mm
- *Wellbase* = 2700 mm

Dan menggunakan berikut ini:

$$R = \sqrt{a_2^2 + l^2} \cot^2 \delta$$

Berdasarkan geometri mobil sedan diketahui data geometri:

$$\begin{aligned} a_2 &= 1505 \text{ mm} \\ l &= 2700 \text{ mm} \\ \delta &= \frac{25.6 + 24.6}{2} = 25.1^\circ \end{aligned}$$

Maka dari persamaan ini didapatkan radius putaran:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{1505^2 + 2700^2} \cot^2 25.1^\circ \\ R &= 5957 \text{ mm} \end{aligned}$$

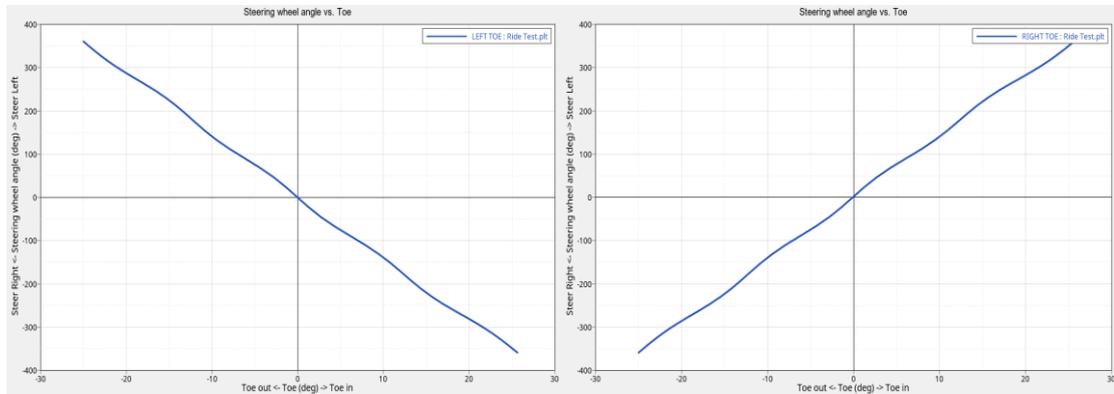
Sehingga didapatkan nilai radius putaran **R = 5957 ~ 5.9 m**

Pada nilai R yang sudah diketahui, selanjutnya nilai R diinput dalam pengujian *Constant Radius Analysis*.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Pengujian *Kinematic and Compliance Test* (KNC)

Berdasarkan *steering analysis* didapatkan data pengaruh besar *steering angle* terhadap sudut *toe* dapat dilihat pada Gambar 4. berikut.

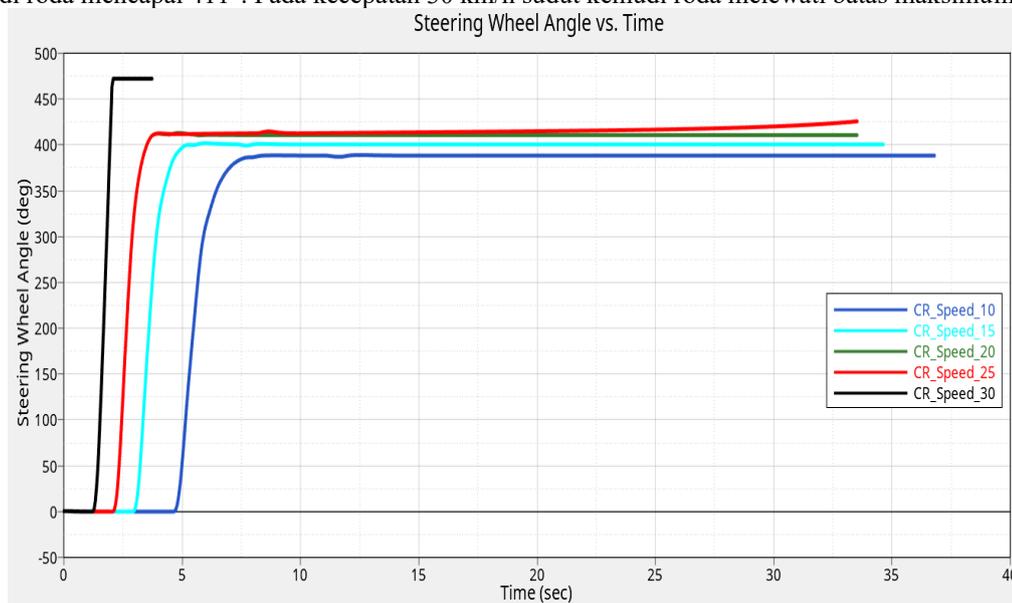


Gambar 4. *Steering Analysis*

*Steering test* menghasilkan data *steering wheel angle* dengan nilai: *Inner Steering Angle*  $\delta_i = 25.6^\circ$  dan *outer steering angle*  $\delta_o = 24.6^\circ$ .

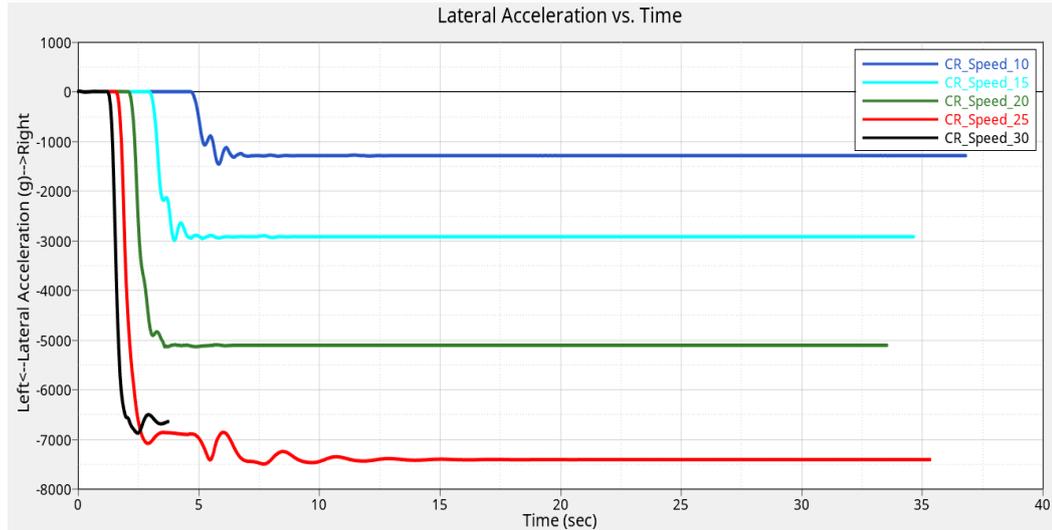
##### 4.2 Hasil Pengujian *Constant Radius Analysis*

Berikut merupakan hasil dari pengujian *Constant Radius Analysis* pada radius putaran 5,9 m. Sudut kemudi roda pada setiap kecepatan dipengaruhi oleh beban yang diterima pada roda, dapat dilihat pada Gambar 5. di bawah. Pada kecepatan 10 km/h sudut kemudi tidak dapat mencapai maksimum dan hanya mencapai  $387^\circ$ , Pada kecepatan 25 km/h, Sudut kemudi roda mencapai  $411^\circ$ . Pada kecepatan 30 km/h sudut kemudi roda melewati batas maksimum.



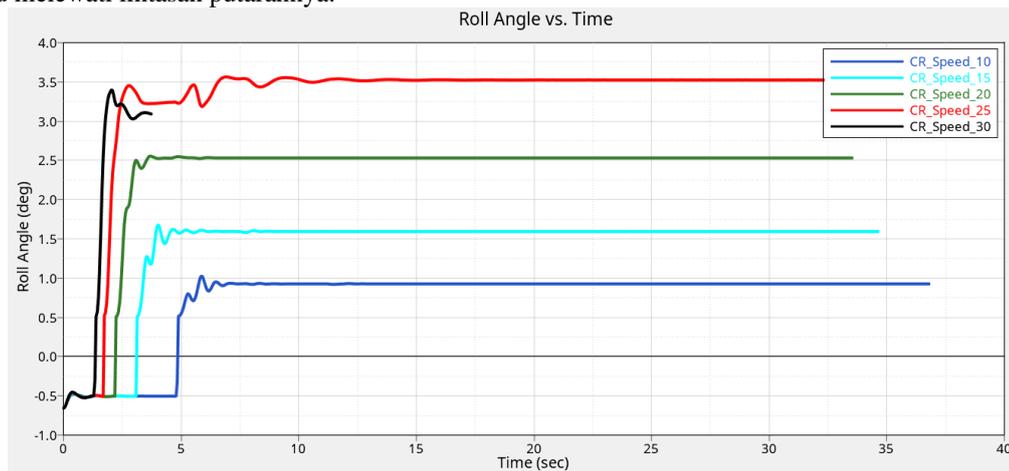
Gambar 5. *Steering Wheel Angle vs Time*

Berdasarkan persamaan *lateral acceleration*, dan radius putaran dapat dihitung nilai percepatan lateral dari masing-masing variasi kecepatan pada kondisi ideal, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. di bawah. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian, kecepatan 10 km/h, 15 km/h dan 20 km/h mencapai percepatan lateral dengan kondisi paling stabil, namun pada variasi kecepatan 25 km/h *lateral acceleration* yang dihasilkan mulai tidak stabil dapat dilihat dari amplitudo grafik terhadap waktu yang dihasilkan dan pada kecepatan 30 km/h roda mobil sudah tidak dapat lagi untuk mempertahankan cengkraman terhadap lintasan.



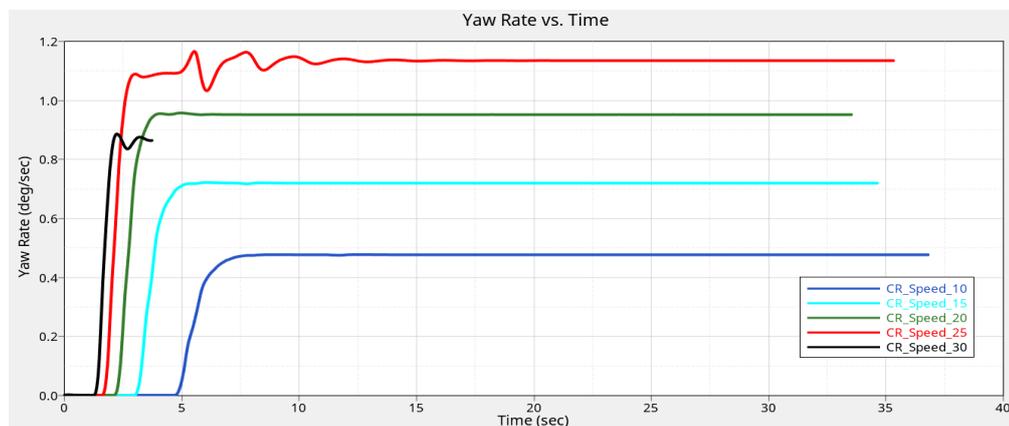
Gambar 6. Lateral Acceleration vs Time

Pada Nilai *roll angle* pada COG mobil sedan cenderung rendah karena pengujian dilakukan pada kondisi jalan yang rata, dapat dilihat pada Gambar 7. di bawah. *Roll angle* dengan kondisi *cornering* paling rendah pada kecepatan 10 km/h dan paling tinggi dialami pada kecepatan 25 km/h. Pada kecepatan 30 km/h sudut *roll* sudah tidak stabil dan sudah tidak mampu melewati lintasan putarannya.



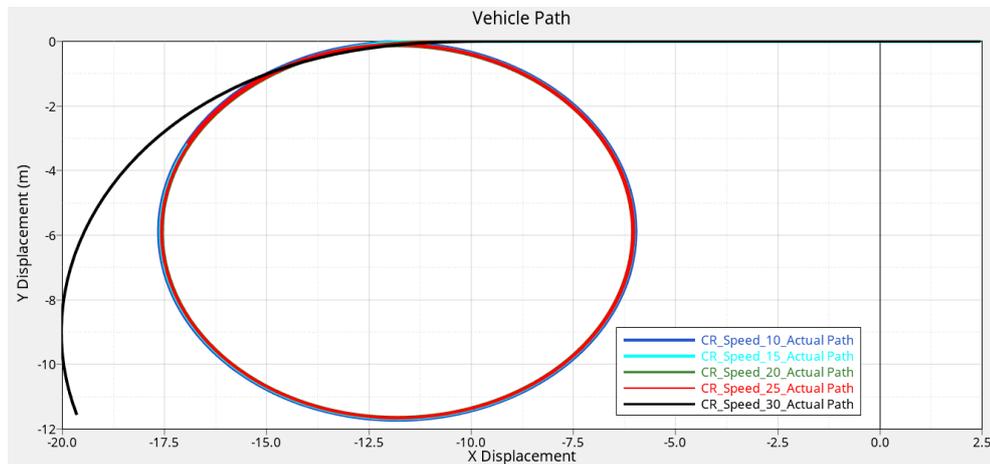
Gambar 7. Roll Angle vs Time

Laju yaw berhubungan langsung dengan *lateral acceleration* kendaraan yang berputar dengan kecepatan konstan di sekitar radius konstan. Dikarenakan adanya hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. di bawah, ketika kecepatan meningkat maka percepatan lateral kendaraan akan ikut bertambah diikuti dengan peningkatan *yaw rate*.



Gambar 8. Yaw Rate vs Time

Pada variasi kecepatan akan mempengaruhi kemampuan kemudi dalam mempertahankan sudut kemudi pada roda. Desain dan pembebanan pada model dirancang dalam kondisi *oversteer* dimana ketika radius putar yang dihasilkan lebih kecil seiring dengan bertambahnya kecepatan dapat dilihat pada grafik di bawah, semakin meningkat kecepatan maka radius lintasan yang dihasilkan semakin kecil namun kemampuan cengkraman roda depan semakin rendah sehingga kemungkinan untuk slip semakin tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 9. di bawah, batas kecepatan aman maksimum dalam melakukan *turning* sesuai dengan radius lintasan 5.9 m adalah 25 km/h dapat dilihat pada kecepatan 30 km/h mobil sedan sudah tidak mampu untuk mempertahankan kondisi *cornering* sehingga mengalami slip.



Gambar 9. Vehicle Path

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa:

- a. Melalui pengujian rolling didapatkan perilaku kendaraan:
  - Pengujian *roll test* dilakukan dengan memberikan pembebanan vertikal terhadap roda melalui *jack (Load Cell)*. *Displacement* tertinggi didapatkan total resultan pembebanan vertikal sebesar 6,555 kN yang dimana salah satu roda bergerak ke atas sejauh 40 mm dan roda yang lain bergerak ke bawah sejauh 40 mm dengan total *resultant force* sebesar 0,8535 kN. Sedangkan pada dua roda belakang didapatkan total resultan pembebanan vertikal sebesar 4,239 kN yang dimana salah satu roda bergerak ke atas sejauh 20 mm dan roda yang lain bergerak ke bawah sejauh 20 mm dengan total *resultant force* sebesar 2,697 kN.
  - Ketika mengalami *displacement* akibat pembebanan pada roda terbentuk sudut simetris antara dua roda depan dan dua roda belakang dengan sudut longitudinal mobil. Sudut terbesar terbentuk ketika *center* roda berada pada titik perpindahan dua roda depan sejauh 40 mm dengan sudut *toe* sebesar  $-0.11^\circ$  pada roda yang berada di atas dan  $0.05^\circ$  pada roda yang berada di bawah sedangkan dua roda belakang memiliki respon perpindahan titik sejauh 20 mm dengan sudut *toe* sebesar  $0.25^\circ$  pada roda yang berada diatas dan  $0.44^\circ$  pada roda yang berada dibawah.
  - Pembebanan vertikal pada dua roda depan dan dua roda belakang. Pergerakan sudut *caster* dari sumbu imajiner roda, dua roda depan yang mengalami gerakan vertikal ke atas akan mendapatkan sudut *positive caster* hingga  $7.3^\circ$  dan roda yang berada di bawah akan mendapatkan sudut *negative caster* hingga  $6.2^\circ$ . Sedangkan dua roda belakang yang mengalami gerakan vertikal ke atas akan mendapatkan sudut *positive caster* hingga  $12.5^\circ$  dan roda yang berada di bawah akan mendapatkan sudut *negative caster* hingga  $11.6^\circ$ .
  - Ketika mengalami gerakan vertikal, sumbu vertikal roda dan sumbu vertikal kendaraan bila dilihat dari depan atau belakang membentuk sudut *camber*. Dua roda depan yang berada di posisi lebih tinggi akan membentuk *negative camber* hingga  $-0.57^\circ$  dan roda yang berada di bawah membentuk *positive camber* hingga  $0.87^\circ$ . Sedangkan dua roda belakang yang berada di posisi lebih tinggi akan membentuk *negative camber* hingga  $-0.32^\circ$  dan roda yang berada di bawah membentuk *positive camber* hingga  $0.01^\circ$ .
- b. Melalui steering test didapatkan data sebagai berikut:
  - *Steering test* menghasilkan data *steering wheel angle* dengan nilai: *Inner Steering Angle*  $\delta_i = 25.6^\circ$  dan *outer steering angle*  $\delta_o = 24.6^\circ$ .
- c. Pada pengujian *constant radius simulation* didapatkan variasi radius putaran sebagai berikut:
  - Pada radius putaran 5,9 m dengan performa terbaik didapatkan pada kecepatan 25 km/h (kondisi *high speed cornering*) dengan laju *yaw rate* mencapai  $1.13 \text{ deg/s}$ , *vehicle expression* yaitu; *steering wheel* mencapai  $411^\circ$ ; *lateral acceleration* yang dihasilkan  $0.7g$ ; besar *roll angle*  $0.35^\circ$ ; besar sudut slip tertinggi pada roda kiri depan sebesar  $9^\circ$  dan terkecil pada roda kiri belakang sebesar  $7^\circ$ ; dengan *vehicle path* yang dilalui memiliki radius 5.923 m.

- Pada radius putaran 10 m dengan performa terbaik didapatkan pada kecepatan 30 km/h (kondisi *high speed cornering*) dengan laju *yaw rate* mencapai 0.81 deg/s, *vehicle expression* yaitu: *steering wheel* mencapai 257°, *lateral acceleration* yang dihasilkan 0.65 g; besar *roll angle* 0.30°; besar sudut slip tertinggi pada roda kiri depan sebesar 7° dan terkecil pada roda kiri belakang sebesar 5°; dengan *vehicle path* yang dilalui memiliki radius 9.892 m.
- Pada radius putaran 15 m dengan performa terbaik didapatkan pada kecepatan 35 km/h (kondisi *high speed cornering*) dengan laju *yaw rate* mencapai 0.63 deg/s, *vehicle expression* yaitu: *steering wheel* mencapai 175°, *lateral acceleration* yang dihasilkan 0.62 g; besar *roll angle* 0.27°; besar sudut slip tertinggi pada roda kiri depan sebesar 7° dan terkecil pada roda kiri belakang sebesar 4°; dengan *vehicle path* yang dilalui memiliki radius 14.926 m.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mabruri, R. A. (2019). ANALISIS KERUSAKAN SISTEM SUSPENSI PADA MOBIL KIA VISTO. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Mesin D-III. Universitas Pancasakti Tegal.
- [2] Setyadi, G. (2019). PERENCANAAN MODIFIKASI CHASIS, SUSPENSI DAN KEMUDI STAGE BUS. Fakultas Teknologi Industri. Jurusan Teknik Mesin D-III. Institut Teknologi Nasional Malang.
- [3] Don, K. (2007). *Classroom Manual for Automotive Suspension & Steering Systems*. [www.TechnicalBooksPDF.com](http://www.TechnicalBooksPDF.com)
- [4] Samudra, L., Hidayat, M., Program, M., & Otomotif, S. M. (2019). *Air Suspension System*. Fakultas Teknik. Teknik Mesin Otomotif. Universitas Muhammadiyah Magelang.
- [5] Naswiatul Aisyiyah. (2016). Pemodelan Sistem Suspensi Kendaraan Dengan Menggunakan *Software Solidworks*. Fakultas Teknologi Industri. Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6] Rieppell, J. (2001). *The Automotive Chassis: engineering principles*. Elsevier.
- [7] Barnwal, R. P. (2012). *Heartbeat message based misbehavior detection scheme for vehicular ad-hoc networks*. *Proceedings - 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2012*, 29–34. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2012.14>
- [8] Balkwill, J. (2018). *Performance Vehicle Dynamics: Engineering and Applications*.
- [9] Shinde Kaviraj. (2011). *Multi-Body Dynamic Transient Simulation for a Spray Mechanism*. <https://www.researchgate.net/publication/305994639>
- [10] Wong B. (2023). 2006 Honda Civic 1.8 B Specs. 2006 Honda Civic 1.8 B Specs, dimensions, fuel consumption ([cars-directory.net](http://cars-directory.net)).
- [11] Gautam, P. (2021). *Designing Variable Ackerman Steering Geometry for Formula Student Race Car*. *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis (IJAEFEA)*, 8(1). <https://doi.org/10.26706/ijae.1.8.20210101>