

Analisa Sistem Kemudi Mobil Marapi Evo 1 Politeknik Negeri Padang KMHE 2021

As'adurrofiq¹, Menhendry², Asmed³

¹²³⁴⁵⁶Teknik Manufaktur, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

*corresponding author:menhendry,@pnp.ac.id

Abstract

In the 2021 Energy Saving Car Contest at the Gelora Bung Karno Circuit, a Marapi Evo 1 Car overturned while racing. The incident was triggered by maneuvering at a turning radius of 6 meters with a maximum permitted speed of 5.42 m/s. In an effort to analyze this problem, the initial specifications of the steering system that will be designed for the vehicle are determined. Next, testing is carried out via test drive to collect relevant data. The test results show that the turning angle on the inner wheel is $\delta_i = 19.42^\circ$ and on the outer wheel is $\delta_o = 17.52^\circ$. The force required to move the steering system in statistical conditions is 19.18 N, while in dynamic conditions it is 7.7 N. On the Marapi Evo 1 Car, the angle of the inner wheel is 19.42° , while the outer wheel is 17.52° . Additionally, the relationship between track width and vehicle wheelbase impacts the turning radius. If the track width is smaller than the wheelbase, the vehicle's turning radius will be smaller. Taking into account the 2021 KMHE regulations which limit the maximum turning radius to 8 meters or less, the Mobil Marapi Evo 1 vehicle is able to overcome a turning radius of 6 meters by moving the steering wheel by 20.66° . Buckling analysis was also carried out using SolidWorks software. Safety criteria are defined by observing the load factor on the tie rod. If the load factor is ≥ 1 , then the component is considered safe; conversely, if the load factor < 1 , then the component is considered unsafe to use.

Keywords: Marapi Evo Car 1. Steering System, Turning Angle, Turning Radius, Buckling Analysis

Abstrak

Dalam ajang Kontes Mobil Hemat Energi 2021 di Sirkuit Gelora Bung Karno, terjadi insiden mobil terbalik pada Mobil Marapi Evo 1 saat berlomba. Kejadian tersebut dipicu pada saat manufer melebihi kecepatan maksimum yang diizinkan yaitu sebesar 5,42 m/s. Dalam upaya menganalisis permasalahan ini, spesifikasi awal dari sistem kemudi yang akan dirancang pada kendaraan telah ditetapkan. Selanjutnya, pengujian dilakukan melalui test drive untuk mengumpulkan data yang relevan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut belok pada roda bagian dalam sebesar $\delta_i = 19,42^\circ$ dan pada roda bagian luar sebesar $\delta_o = 17,52^\circ$. Gaya yang diperlukan untuk menggerakkan sistem kemudi pada kondisi statis adalah sebesar 19,18 N, sementara pada kondisi dinamis adalah 7,7 N. Pada Mobil Marapi Evo 1, besar sudut inner wheel adalah $19,42^\circ$, sedangkan outer wheel adalah $17,52^\circ$. Selain itu, hubungan antara track width dan wheelbase kendaraan berdampak pada radius belok. Jika track width lebih kecil dari wheelbase, maka radius belok kendaraan akan lebih kecil. Dengan mempertimbangkan regulasi KMHE 2021 yang membatasi radius belok maksimal menjadi 8 meter atau kurang, kendaraan Mobil Marapi Evo 1 mampu mengatasi radius belok 6 meter dengan menggerakkan roda kemudi sebesar $20,66^\circ$. Analisis buckling juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Kriteria keamanan didefinisikan dengan mengamati load factor pada tie rod. Jika load factor ≥ 1 , maka komponen dianggap aman; sebaliknya, jika load factor < 1 , maka komponen tersebut dianggap tidak aman untuk digunakan.

Kata kunci: Mobil Marapi Evo 1. Sistem Kemudi, Sudut Belok, Radius Belok, Analisa Buckling

Diterima Redaksi : 05-06-2024 | Selesai Revisi : 05-07-2024 | Diterbitkan Online : 8-07-2024

1. Pendahuluan

Mobil Marapi Evo 1 melakukan race perdana di Sirkuit Gelora Bung Tomo Surabaya. Setiap tim diberikan lima kesempatan race. Setelah melewati tahap pengecekan kendaraan, mobil Marapi Evo 1 melakukan race pertamanya, namun pada kesempatan pertama ini race tidak berjalan dengan lancar. Mobil Marapi Evo 1 mengalami kendala pada lap ke 3 dimana mobil tersebut terbalik di

tikungan terakhir. Insiden tersebut membuat tim marapi mendapat pengalaman yang berharga pada race pertama.

Pada saat perlombaan berlangsung ada beberapa faktor yang menyebabkan mobil Marapi Evo 1 terbalik salah satunya disebabkan oleh sistem kemudi hal tersebut terjadi karena sistem kemudi yang kami gunakan memiliki kelemahan berupa Sistem kemudi yang digunakan merupakan sistem kemudi manual hal tersebut terjadi karena sistem

kemudi manual tidak memiliki bantuan tenaga eksternal. Sehingga mengharuskan Pengemudi mengandalkan kekuatan fisik mereka sendiri untuk menggerakkan roda kemudi dan mengubah arah kendaraan dan perilaku belok pada mobil marapi evo 1 yang terbilang cukup kecil dan tidak menyesuaikan dengan whellbase sehingga mempengaruhi stabilitas dan manuverabilitas pada kendaraan [1].

Oleh sebab itu, untuk mengoptimalkan performa dari sistem kemudi dilakukan beberapa Perhitungan agar mobil Marapi Evo 1 dapat bermanuver lebih baik pada sirkuit. Metode Analisa yang digunakan merupakan Analisa kinematic dengan bantuan software solidwork. Perhitungan dan analisa didasarkan pada spesifikasi mobil Marapi Evo 1 yang telah disesuaikan dengan regulasi Kontes Mobil Hemat Energi 2021 [2][3].

Definisi Sistem Kemudi

Sistem kemudi merupakan komponen krusial pada kendaraan yang memungkinkan pengemudi dapat mengendalikan arah pergerakan kendaraan. dikarenakan pada sistem kemudi merupakan jaminan bagi keselamatan pengemudi, maka dari itu pada proses perancangannya harus memperhatikan faktor keamanan dan juga kenyamanan.



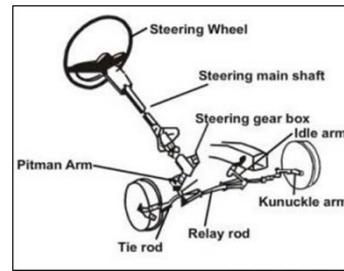
Gambar 1. Sistem Kemudi pada mobil Marapi Evo 1

Pada penerapannya sistem kemudi harus memenuhi syarat yang harus diperhatikan Diantara lainnya, berupa pada proses manufernya sistem kemudi dapat mengubah arah dengan stabil dalam kondisi apapun, Sistem kemudi dapat digunakan dengan mudah dan juga ringan dan perancangan sistem kemudi tidak membahayakan pengendalian ketika lagi berkemudi.

Jenis-Jenis Sistem Kemudi

Sistem Kemudi Manual

Sistem kemudi manual, juga dikenal sebagai sistem kemudi mekanik, adalah jenis sistem kemudi yang mengandalkan tenaga fisik pengemudi untuk mengendalikan arah kendaraan. Sistem ini menggunakan mekanisme mekanis yang langsung menghubungkan roda kemudi dengan komponen-komponen kemudi lainnya. Keuntungan dari sistem kemudi manual adalah sederhana, andal, dan umumnya membutuhkan perawatan yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem kemudi yang lebih kompleks [4].

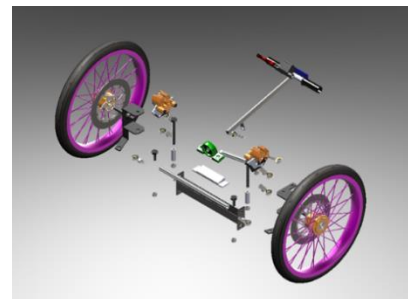


Gambar 2. Sistem Kemudi Manual

Sistem Kemudi Menggunakan Power Steering

Sistem kemudi dengan power steering (kemudi bantuan daya) adalah jenis sistem kemudi yang menggunakan bantuan hidrolis atau listrik untuk mengurangi usaha yang dibutuhkan oleh pengemudi saat memutar roda kemudi. Tujuan dari power steering adalah meningkatkan kenyamanan dan kemudahan dalam mengendalikan kendaraan, terutama saat melakukan manuver pada kecepatan rendah atau saat parker [5][6].

Bagian-Bagian Sistem Kemudi

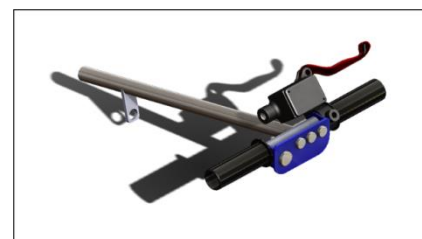


Gambar 3. Sistem Kemudi pada mobil Marapi Evo 1

Pada sistem kemudi yang ada pada mobil EVO 1 terdapat beberapa bagian penting yang digunakan agar pengemudi dapat berkendara dengan nyaman, yaitu:

Roda kemudi

Roda kemudi mobil sangat penting untuk keselamatan dan pengendalian kendaraan. Dengan menggunakan kemudi mobil, pengemudi dapat mengarahkan kendaraan secara tepat dan responsif, membantu dalam menghindari rintangan, menavigasi tikungan, dan menjaga kendaraan tetap dalam jalur yang diinginkan. Roda kemudi yang baik itu adalah roda kemudi yang dapat memenuhi faktor-faktor berikut ini, yaitu; (a) kemudahan, (b) kenyamanan, (c) keindahan, (d) keamanan, dan (e) komersial



Gambar 4. Roda Kemudi

Batang kemudi

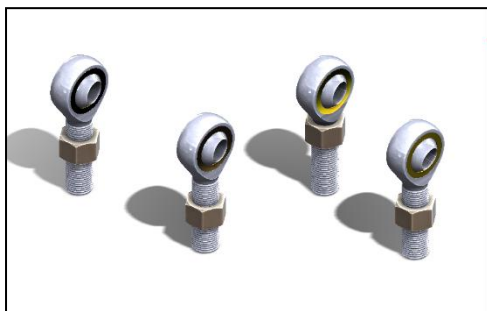
Batang kemudi berfungsi Saat pengemudi memutar batang kemudi, yang kemudian gerakan tersebut ditransmisikan melalui mekanisme kemudi dan akhirnya mengubah arah kendaraan.



Gambar 5. Batang Kemudi

Ball joint

Ball joint dapat memberikan pergerakan bebas pada berbagai sumbu. Hal tersebut memungkinkan roda untuk berputar saat kendaraan berbelok tanpa membatasi pergerakan suspensi. Hal ini penting untuk menjaga traksi roda dan stabilitas kendaraan saat bermanuver.



Gambar 6. Ball Joint

Tie rod

Tie rod adalah komponen yang penting dalam sistem kemudi kendaraan. Fungsinya adalah menghubungkan bagian kemudi dengan roda depan, memungkinkan pengemudi untuk mengontrol arah kendaraan. Tie rod bekerja sama dengan komponen lain, seperti batang kemudi, untuk mentransmisikan gerakan putar dari kemudi ke roda depan [7].



Gambar 7. Tie Rod

Link Stabizer Kemudi

Link Stabizer Kemudi digunakan bersama komponen lain dalam sistem kemudi, membantu

mempertahankan kesejajaran roda kendaraan. Kesejajaran yang tepat pada roda penting untuk stabilitas, traksi, dan umur pakai ban. Link Stabizer Kemudi memastikan bahwa gerakan putar yang diterima dari batang kemudi disalurkan dengan akurat ke roda kemudi kiri dan kanan untuk menjaga kesejajaran yang seimbang [8][5].



Gambar 8. Link Stabizer Kemudi

Steering linkage

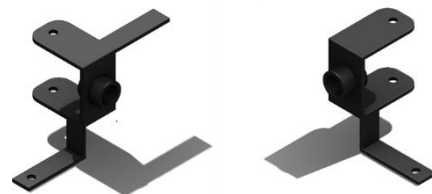
Steering linkage menghubungkan batang kemudi dengan roda kemudi, sehingga memungkinkan gerakan putar yang dihasilkan oleh pengemudi saat memutar kemudi dapat ditransfer secara efektif ke roda kemudi.



Gambar 9. Steering linkage

Steering knuckle

Knuckle, juga dikenal sebagai upright atau hub carrier, adalah komponen penting pada suspensi kendaraan yang terletak di bagian roda depan atau belakang. Knuckle berperan sebagai hub atau poros roda yang memungkinkan roda untuk berputar dengan bebas.



Gambar 10. Steering knuckle

Track width

Track width adalah jarak horizontal antara pusat roda kiri dan pusat roda kanan pada satu sumbu kendaraan. Ini mencerminkan lebar keseluruhan

kendaraan dan dapat diukur pada roda depan (front track width) dan roda belakang (rear track width). Pada penerapannya track width dapat mempengaruhi beberapa hal diantaranya :

Pengaruh track width pada geometri suspense

Track width dapat mempengaruhi geometri suspensi kendaraan. Jika track width diubah secara signifikan, maka hal ini dapat mempengaruhi camber, caster, toe, dan offset pada suspensi. Sebagai contoh, jika track width diubah menjadi lebih lebar, maka hal ini dapat menghasilkan camber yang lebih negatif pada roda depan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi handling dan ketahanan ban. Oleh karena itu, perubahan track width pada kendaraan harus dilakukan dengan hati-hati dan dipertimbangkan dengan baik, serta dengan memperhitungkan geometri suspensi kendaraan.

Pengaruh track width pada clearance

Perubahan track width pada kendaraan juga dapat mempengaruhi clearance. Clearance mengacu pada ruang kosong antara bagian tubuh kendaraan dan bagian lain seperti roda, rem, atau suspensi. Jika track width diubah menjadi lebih lebar, maka bagian-bagian kendaraan yang awalnya memiliki clearance yang cukup mungkin menjadi lebih dekat ke roda atau bagian lainnya. Oleh karena itu, perubahan track width harus dipertimbangkan dengan baik untuk memastikan bahwa tidak ada bagian yang bergesekan atau saling bersentuhan.

Pengaruh track width pada handling dan stabilitas

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, track width dapat mempengaruhi handling dan stabilitas kendaraan. Jika track width diubah menjadi lebih lebar, maka hal ini dapat meningkatkan stabilitas lateral kendaraan saat melewati tikungan atau dalam situasi darurat. Namun, terlalu lebar track width dapat mengurangi kemampuan kendaraan untuk bermanuver dengan cepat dan presisi pada jalur yang sempit atau di area parkir yang sempit.

Track width dan distribusi beban

Track width juga mempengaruhi distribusi beban pada kendaraan. Semakin lebar track width, semakin merata beban yang didistribusikan pada setiap roda, dan ini dapat mempengaruhi kestabilan kendaraan. Selain itu, perubahan track width juga dapat mempengaruhi pusat gravitasi kendaraan dan ini dapat mempengaruhi handling kendaraan secara keseluruhan.

Pada beberapa negara, ada regulasi atau batasan untuk track width kendaraan yang diizinkan di jalan raya. Regulasi ini biasanya membatasi track width pada kendaraan agar tetap aman dan tidak merugikan pengguna jalan lainnya. Oleh karena itu, sebelum melakukan perubahan track width pada kendaraan, pastikan untuk memeriksa regulasi atau aturan yang berlaku di daerah Anda.

Wheelbase

Wheelbase pada sebuah kendaraan mengacu pada jarak antara sumbu roda depan dan sumbu roda belakang. Wheelbase dapat mempengaruhi banyak aspek dari performa kendaraan, termasuk handling, kelincihan, kestabilan, dan kenyamanan.

Berikut penjelasan mengenai pengaruh wheelbase pada sebuah kendaraan terhadap beberapa aspek seperti yang sudah disebutkan sebelumnya :

Pengaruh wheelbase pada handling

Wheelbase yang lebih pendek biasanya menghasilkan kendaraan yang lebih lincah dan mudah untuk bermanuver pada jalur yang sempit atau tikungan yang tajam. Hal ini karena sumbu roda yang lebih dekat satu sama lain memungkinkan kendaraan untuk merespon dengan cepat pada perubahan arah dan kecepatan. Namun, kendaraan dengan wheelbase yang lebih pendek dapat kurang stabil pada kecepatan tinggi, karena jarak antara sumbu roda yang lebih pendek dapat menyebabkan getaran yang lebih besar pada kendaraan.

Pengaruh wheelbase pada kenyamanan

Wheelbase yang lebih panjang biasanya menghasilkan kendaraan yang lebih stabil pada kecepatan tinggi dan lebih nyaman dalam berkendara jarak jauh. Hal ini karena wheelbase yang lebih panjang dapat mengurangi getaran dan memperluas area interior kendaraan. Kendaraan dengan wheelbase yang lebih panjang juga cenderung memiliki kestabilan yang lebih baik saat melakukan pengereman, karena beban kendaraan terdistribusi secara merata di seluruh sumbu roda.

Pengaruh wheelbase pada distribusi berat

Wheelbase juga dapat mempengaruhi distribusi berat pada kendaraan. Wheelbase yang lebih panjang cenderung memiliki titik berat yang lebih rendah dan lebih merata dibandingkan dengan wheelbase yang lebih pendek. Hal ini dapat meningkatkan stabilitas kendaraan dan mengurangi risiko kecelakaan karena terbalik. Distribusi berat yang merata juga dapat meningkatkan traksi kendaraan pada kondisi jalan yang buruk atau licin.

Pengaruh wheelbase pada pusat gravitasi

Wheelbase juga dapat mempengaruhi posisi pusat gravitasi kendaraan. Kendaraan dengan wheelbase yang lebih panjang biasanya memiliki pusat gravitasi yang lebih rendah dan lebih dekat dengan tengah kendaraan, sehingga meningkatkan kestabilan. Namun, kendaraan dengan wheelbase yang lebih pendek dapat memiliki pusat gravitasi yang lebih tinggi dan lebih jauh ke depan atau belakang, yang dapat mempengaruhi handling kendaraan.

Pengaruh wheelbase pada konstruksi kendaraan

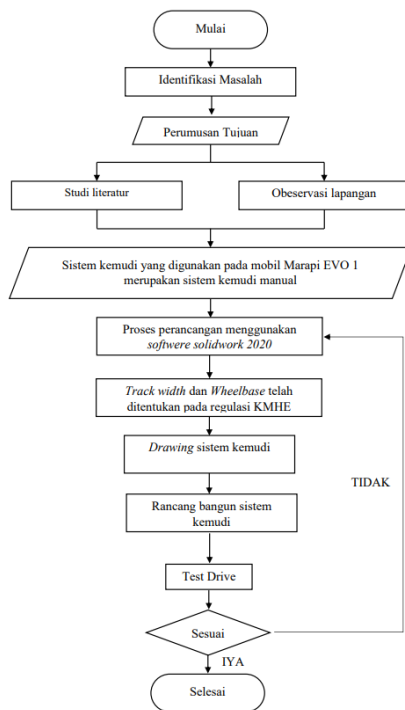
Wheelbase juga mempengaruhi desain dan konstruksi kendaraan. Wheelbase yang lebih panjang cenderung memerlukan bingkai yang lebih besar dan lebih berat, sementara wheelbase yang

lebih pendek memungkinkan kendaraan untuk lebih ringan dan lebih lincah. Namun, wheelbase yang lebih pendek juga dapat membatasi ruang interior dan mengurangi kapasitas kargo kendaraan.

2. Metode Penelitian

Diagram Alir (Flowchart)

Berikut ini adalah metode perancangan sistem kemudi yang dipakai pada proses pembuatan mobil Marapi Evo 1.



Gambar 11. Diagram Alir

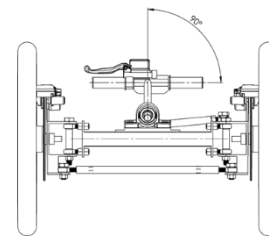
Test Drive dan Evaluasi

Uji coba kendaraan dilakukan di halaman Politeknik Negeri Padang, dengan penentuan dimensi. Track yang digunakan sudah di setting sedemikian rupa untuk mendapatkan pengujian yang dibutuhkan sesuai dengan regulasi KMHE 2021. Pada uji coba sistem kemudi maka kami memerlukan track dengan radius 8 m dan uji coba kedua menggunakan Sirkuit Gelora Bung Tomo yang berada di Surabaya dan juga menjadi arena tempat bertanding

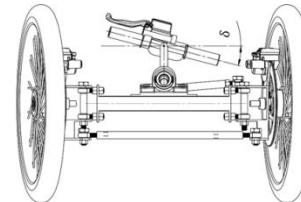
Perhitungan kebutuhan sistem kemudi pada mobil EVO 1

Sudut belok pada roda kemudi kendaraan

Setelah dilakukan assembly, maka tahap selanjutnya ialah mengetahui besarnya sudut putar roda kemudi yaitu digunakan rumus persamaan (1) (Pahlevi dan Wasiwitono, 2014)



Gambar 12. Roda kemudi dalam keadaan normal



Gambar 13. Besar sudut roda kemudi setelah digerakan

$$R = \left(\frac{t_r}{2}\right) + \left(\frac{L}{\sin \delta}\right) \quad (1)$$

Keterangan :

R = turning radius (meter)

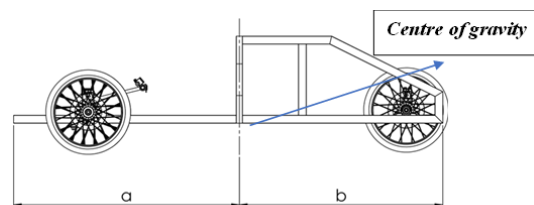
t_r = track width (meter)

L = wheel base (meter)

δ = steering angle

Centre of gravity

titik berat (Centre of gravity) kendaraan dapat diukur dengan cara mengukur berat poros bagian depan dan belakang kendaraan serta jarak wheelbase (L). Data hasil pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan rumus matematis sehingga mendapatkan letak titik berat kendaraan.



Gambar 14. Centre of gravity

Kemudian menggunakan rumus untuk menentukan letak titik berat dari poros roda depan (a) dan jarak dari poros roda belakang (b). Rumus perhitungannya sebagai berikut :

$$L = a + b \quad (2)$$

$$a = \frac{L \times W_r}{W_f + W_r} \quad (3)$$

$$b = \frac{L \times W_f}{W_f + W_r} \quad (4)$$

Keterangan :

L : Panjang wheelbase (m)

- a : Jarak dari pusat berat ke sumbu roda depan (m)
- b : Jarak dari pusat berat ke sumbu roda belakang (m)
- Wf : Berat depan kendaraan (N)
- Wr : Berat belakang kendaraan (N)
- Wt : Berat total (N)

Perhitungan Radius belok menggunakan prinsip ackerman

Perilaku Ackerman merupakan perilaku belok kendaraan yang ideal, kendaraan akan berbelok mengikuti gerakan Ackerman dimana tidak terjadi sudut slip pada setiap roda. Pada kecepatan yang rendah roda tidak memerlukan gaya lateral sehingga pada saat membelok belum menimbulkan sudut slip. Pusat belok dari kendaraan merupakan perpotongan garis yang berhimpit dengan poros belakang dengan garis tegak lurus terhadap sudut belok roda depan (δ_0 dan δ_i) [9].

Tujuan utama dari prinsip Ackerman adalah untuk mengurangi gaya gesekan dan keausan pada ban kendaraan serta meningkatkan kestabilan dan manuverabilitas saat kendaraan berbelok [10]. Prinsip ini paling umum diterapkan pada kendaraan dengan sistem kemudi roda depan, seperti mobil penumpang.

Prinsip Ackerman berdasarkan pada konsep sudut belok. Ketika kendaraan berbelok, roda luar (roda yang berada di sisi luar tikungan) harus mengikuti jalur yang lebih besar daripada roda dalam (roda yang berada di sisi dalam tikungan). Sudut belok yang berbeda pada setiap roda ini memastikan bahwa semua roda memiliki radius belok yang sama.

Jika kedua roda belakang diterapkan sudut belok yang sama, maka ban luar akan melalui radius yang lebih besar daripada ban dalam. Hal ini menyebabkan kemungkinan terjadinya slip atau tergelincir pada ban dalam saat kendaraan berbelok. Selain itu, pada sudut belok yang besar, sudut roda dalam bisa menjadi terlalu besar dan menyebabkan gesekan berlebihan antara ban dalam dengan permukaan jalan.

Dalam prinsip Ackerman, sudut belok roda dikendalikan oleh mekanisme khusus yang menghubungkan roda dengan kemudi. Mekanisme ini biasanya menggunakan peredam, batang tie-rod, dan berbagai komponen lainnya. Ketika pengemudi memutar setir, mekanisme ini memastikan bahwa sudut belok roda disesuaikan dengan sudut belok setir, sehingga roda luar dan dalam dapat mengikuti lintasan yang tepat sesuai dengan prinsip Ackerman.

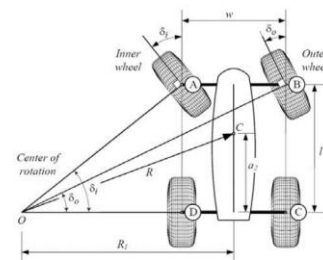
Penerapan prinsip Ackerman pada kendaraan membutuhkan perhitungan yang cermat dan presisi dalam desain geometri suspensi. Faktor-faktor

seperti panjang dan sudut batang tie-rod, lebar kendaraan, jarak sumbu roda, dan ukuran roda harus dipertimbangkan dengan seksama agar prinsip Ackerman dapat bekerja dengan baik.

Secara keseluruhan, prinsip Ackerman adalah prinsip geometri yang penting dalam desain suspensi kendaraan untuk memastikan kestabilan, manuverabilitas, dan usia pakai ban yang optimal saat kendaraan berbelok.

Pada penerapannya sistem ackerman memiliki persamaan sebagai berikut:

$$R_{ack} = \frac{a + b}{\delta f} \times 57,29 \tag{5}$$



Gambar 15. Sudut belok sistem kemudi

Setelah melakukan perhitungan sudut ackermann (Rack) perhitungan untuk sudut slip ban dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

Roda Bagian Luar

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{L}{\frac{R + t_r}{2}} \tag{6}$$

Roda Bagian Dalam

$$\beta = \tan^{-1} \frac{L}{\frac{R - t_r}{2}} \tag{7}$$

Keterangan :

- α : Sudut belok roda depan bagian Luar ($^{\circ}$)
- β : Sudut belok roda depan bagian dalam ($^{\circ}$)
- R : Radius belok kendaraan (m)
- Tr : Track width (m)

Perhitungan gaya saat memutar sistem kemudi Pehitungan gaya dilakukan untuk untuk mengetahui seberapa besar gaya yang harus dikeluarkan agar dapat membelokan roda. Hal tersebut dilakukan sebagai landasan acuan dalam melakukan sebuah analisa material pada sistem kemudi mobil EVO 1. analisa gaya yang dilakukan dengan keadaan statis. Pendekatan secara statis pada umumnya jarang dilakukan, oleh sebab itu tidak ada rumusan baku mengenai perhitungan gaya tersebut maka

dilakukan metode perhitungan dari beberapa referensi.

Analisa kinematic menggunakan software solidwork

Analisis kinematik pada sistem kemudi melibatkan pemahaman gerakan dan pergerakan komponen-komponen dalam sistem kemudi. Dalam konteks ini, kinematik mengacu pada studi tentang gerakan dan hubungan geometris antara komponen-komponen sistem kemudi tanpa mempertimbangkan gaya yang terlibat.



Gambar 16. Analisa Kinematik

Analisis kinematik pada sistem kemudi dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana roda kemudi dan mekanisme lainnya berinteraksi dalam mengubah arah kendaraan. Beberapa hal yang dapat dianalisis dalam kinematik sistem kemudi meliputi:

Mekanisme Kemudi

Analisis kinematik akan melibatkan pemahaman tentang bagaimana pergerakan roda kemudi menggerakkan mekanisme kemudi. Hal ini meliputi pemahaman tentang jenis mekanisme kemudi yang digunakan, seperti rack and pinion atau recirculating ball, serta hubungan geometris antara komponen-komponen dalam mekanisme tersebut.

Perbandingan Gerakan

Analisis kinematik memungkinkan perbandingan gerakan antara roda kemudi dengan pergerakan roda kendaraan. Ini melibatkan perhitungan dan pemahaman tentang perbandingan pergerakan linier roda kemudi dengan pergerakan rotasi roda kendaraan.

Sudut Belokan

Analisis kinematik juga melibatkan pemahaman tentang sudut belokan yang dihasilkan oleh pergerakan roda kemudi. Ini termasuk memahami hubungan antara sudut putaran roda kemudi dengan sudut belokan roda. Dalam analisis ini, konsep trigonometri dan geometri akan digunakan untuk menghitung dan memvisualisasikan hubungan ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa sistem kemudi pada mobil marapi evo 1 Sistem kemudi yang digunakan pada mobil marapi menggunakan prinsip ackerman, dengan ketentuan berdasarkan regulasi kmhe 2021, yang tertera pada tabel dibawah berikut:

Tabel 1. Regulasi KMHE 2021

no	keterangan	ketentuan	hasil
1.	Track width	>50 cm	66.4 cm
2.	Wheel base	>100 cm	200 cm
3.	Panjang keseluruhan kendaraan	Maks 350 cm	280 cm
4.	Lebar keseluruhan kendaraan	Maks 130 cm	110 cm
5.	Berat kendaraan	140 kg	99.1 kg
6.	Ban	-	50/80-17
7.	Radius belok	Maks 8m	6 m

Perhitungan aspek yang mempengaruhi performa sistem kemudi

Centre of Gravity

Centre of gravity menjadi suatu faktor penting untuk menentukan kesimbangan mobil terutama pada saat bermanuver. Maka dari itu, perhitungan Central of grvity harus dilakukan dengan cermat. Pada kontes mobil hemat energi 2021, terdapat insiden dimana mobil marapi terbalik. Kemudian dilakukan analisa Centre Of gravity pada mobil tersebut untuk memperbaiki titik keseimbangan antara beban yang terjadi di mobil bagian depan dan belakang.

Titik pusat pembebanan pada mobil marapi evo 1 dilakukan untuk mendapatkan posisi kestabilan mobil, pada pembagian pembebanan dibagi menjadi dua bagian yaitu beban bagian depan dan beban bagian belakang, dengan asumsi Batasan pembagian beban pada rollbar. Berikut besar beban yang ditanggung terhadap sasis pada tabel berikut :

Tabel 2. pembagian beban pada bagian depan

No	Keterangan	Berat
1 .	Tempat duduk pengemudi	2,1 kg
2 .	Sistem kemudi	5 kg
3 .	Safety belt	5 kg
4 .	APAR	3 kg
5 .	Roda depan	7 kg
6 .	Body depan	6 kg
Total		28,1 kg

Tabel 3. pembagian beban pada bagian belakang

No	Keterangan	Berat
1 .	Enggine	55 kg
2 .	Aki	4 kg
3 .	Control box	1 kg
4 .	Roda belakang	4 kg
5 .	Transmisi	2 kg
6 .	Body belakang	4 kg
7 .	Knalpot	1 kg
Total		71 kg

Untuk menghitung panjang wheelbase maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = a + b \quad (2)$$

$$a = \frac{L \times W_r}{W_f + W_r} \quad (3)$$

$$b = \frac{L \times W_f}{W_f + W_r} \quad (4)$$

Diketahui :

L : Wheelbase ($a+b$) = 2000 mm

W_f : Berat bagian depan = 28,1 Kg = 275,38 N

W_r : Berat bagian belakang = 71Kg = 695,8 N

W : Berat total = 99,1 Kg = 971,18 N

Jarak titik sumbu roda depan ke Centre of Gravity

$$a = \frac{2000 \text{ mm} (695,8)}{971,18}$$

$$a = 1432,89 \text{ mm}$$

Jarak titik sumbu roda belakang ke Centre of Gravity

$$b = \frac{2000 \text{ mm} (275,38)}{971,18}$$

$$b = 567,103 \text{ mm}$$

Sudut belok pada roda kemudi

Untuk memenuhi aturan standar radius yang ditetapkan pada Kontes Mobil Hemat Energi 2021. Dilakukan perhitungan sudut belok pada mobil marapi evo 1. Putaran pada roda kemudi mempengaruhi besar radius belok yang akan ditempuh oleh mobil marapi evo 1, untuk menentukan besar sudut putaran pada roda kemudi didapatkan dengan persamaan berikut :

$$R = \left(\frac{t_r}{2} \right) + \left(\frac{L}{\sin \delta} \right) \quad (1)$$

$$6m = \left(\frac{0,664m}{2} \right) + \left(\frac{2}{\sin \delta} \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} \frac{2m}{6m - \frac{0,664m}{2}}$$

$$\delta = 20,66^\circ$$

Sudut belok pada roda bagian luar (outer Wheel)

$$\delta_o = \tan^{-1} \frac{L}{R + \frac{t_r}{2}}$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \frac{2m}{6m + \frac{0,664m}{2}}$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \frac{2m}{6,332m}$$

$$\delta_o = \tan^{-1}(0,31585)$$

$$\delta_o = 17,52^\circ$$

Sudut belok pada roda bagian dalam (inner wheel)

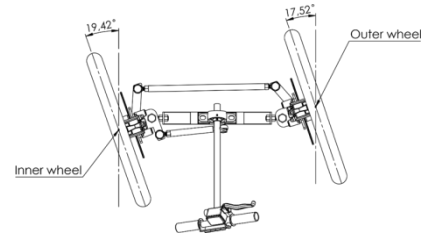
$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{L}{R - \frac{t_r}{2}}$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{2m}{6m - \frac{0,664m}{2}}$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{2m}{5,668m}$$

$$\delta_i = \tan^{-1}(0,35258)$$

$$\delta_i = 19,42^\circ$$

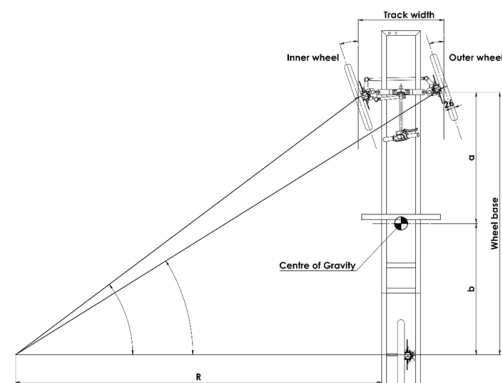


ambar 17. Sudut roda Ketika roda kemudi digerakan

Dari perhitungan diatas maka didapat besaran sudut roda bagian dalam sebesar 17.52o sedangkan besaran sudut roda bagian luar sebesar 19,42o .

Sudut belok pada sistem kemudi menggunakan prinsip ackerman

Karakteristik sistem kemudi adalah untuk merancang mekanisme yang dapat mengukur sudut belok yang terjadi pada sistem kemudi dengan melakukan beberapa perubahan parameter, diantaranya perubahan besarnya beban dan perubahan posisi steering gear. Penentuan objek mobil yang akan diteliti yaitu mobil Marapi Evo 1 Selanjutnya mengetahui perilaku belok ackermann (Rack) Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :



Gambar 18. Geometri Sistem Ackerman

$$R_{ack} = \frac{a + b}{\delta f} \times 57,29 \quad (5)$$

$$R_{ack} = \frac{143,89 \text{ mm} + 567,103 \text{ mm}}{20,66^\circ} \times 57,2$$

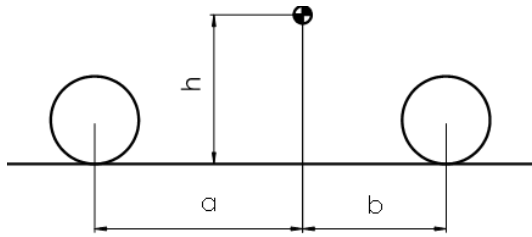
$$R_{ack} = 5.537 \text{ mm}$$

Radius belok yang dapat ditempuh oleh kendaraan dengan sudut belok pada roda kemudi yaitu sebesar 5.537 mm, yang artinya kendaraan dapat memenuhi persyaratan radius belok pada regulasi KMHE 2021.

Dengan menggunakan software solidwork dilakukan beberapa variasi nilai track width yang

nantinya mempengaruhi radius putar mobil marapi evo 1.

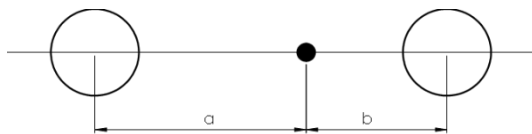
Perhitungan gaya normal pada roda



Gambar 19. Titik berat kendaraan

Diketahui :

- a : Jarak antara titik pusat pada kendaraan dengan roda depan = 1432,89 mm
- b : Jarak antara titik pusat pada kendaraan dengan roda belakang = 567,103 mm
- Wf : Gaya yang bekerja pada roda depan (N)
- Wr : Gaya yang bekerja pada roda belakang (N)



Gambar 19. Perhitungan gaya pada roda

Diketahui :

Gaya yang bekerja pada roda $W_f = W_r = W_a = W_b = W$

$$\begin{aligned}
 W_{total} &= (99,1 \text{ kg (berat kendaraan)} + 50 \text{ kg (berat pengemudi)}) \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 99,1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1461,18 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 +\curvearrowright \Sigma B &= \frac{1}{2} total \cdot b - W_a \cdot (a + b) = 0 \\
 &= \frac{1}{2} 1461,18 \cdot (567,103) - W_a \cdot (1432,89 + 567,103) = 0 \\
 &= \frac{414.319,781}{1999,993} = W_a \\
 W_a &= 207,16 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $W_a=207,16$ N, maka gaya yang bekerja pada tiap roda

$$(F_n) = \frac{207,16 \text{ N}}{2} = 103,58 \text{ N},$$

Maka untuk mencari gaya gesek maksimum (f_{max}) dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{max} = \mu_s \cdot F_N$$

Dimana :

- F_{max} = Gaya gesek maksimum pada roda (N)
- μ_s = Koefisien gesek statis
- F_N = Gaya yang bekerja pada roda (N)
- Diasumsikan nilai koefisien gesek statis (μ_s) sebesar 0,5. Maka dengan persamaan 2.

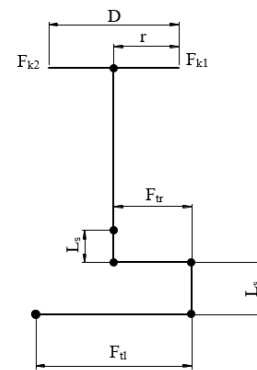
Maka :

$$\begin{aligned}
 F_{max} &= 0,5 \cdot 103,58 \text{ N} \\
 &= 51,79 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dapat diperoleh nilai gaya gesek maksimum pada tiap roda (F_{max}) sebesar 51,79 N

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai gaya gesek maksimum (F_{max}) pada setiap roda. Dalam kondisi statis dengan nilai koefisien gesek maksimum (μ_s) 0,5 yaitu sebesar 103,58 N. Besar gaya gesek maksimum (F_{max}) ini diartikan sebagai besar gaya maksimum yang akan bekerja pada tie rod maksimum.

Gaya yang dibutuhkan untuk memutar roda kemudi Sistem kemudi pada saat keadaan statis

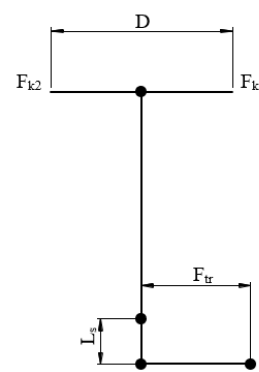


Gambar 20. Geometri sistem kemudi

$$\begin{aligned}
 2F_k &= \frac{2 \cdot F \text{ Tie rod statis} \cdot L_s}{2r} \text{ atau } F_k \\
 &= \frac{2 \cdot F \text{ Tie rod statis} \cdot L_s}{2 \cdot 2r}
 \end{aligned}$$

Maka :

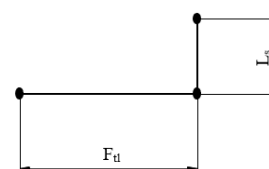
Section 1



Gambar 21. Section 1

$$\begin{aligned}
 F_k &= \frac{2 \cdot 51,79 \cdot 0,04}{2 \cdot 2 \cdot 0,152} \\
 F_k &= 6,72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Section 2



Gambar 22. Section 2

$$F_k = (2 \cdot 51,79 \cdot 0,219) / (2 \cdot 2,0,455)$$

$$F_k = 12,46 \text{ N}$$

Total section 1 & 2 pada keadaan statis yaitu
 $6,72 \text{ N} + 12,46 \text{ N} = 19,18 \text{ N}$

Sistem kemudi pada saat keadaan dinamis
 $F_{\min} = 0,2 \cdot 103,58 \text{ N}$
 $= 20,716 \text{ N}$

$$2F_k = \frac{2 \cdot F \text{ Tie rod statis} \cdot Ls}{2r} \text{ atau } F_k$$

$$= \frac{2 \cdot F \text{ Tie rod statis} \cdot Ls}{2 \cdot 2r}$$

Maka :

Section 1

$$F_k = \frac{2 \cdot 20,716 \cdot 0,04}{2 \cdot 2,0,152}$$

$$F_k = 2,72 \text{ N}$$

Section 2

$$F_k = \frac{2 \cdot 20,716 \cdot 0,219}{2 \cdot 2,0,455}$$

$$F_k = 4,98 \text{ N}$$

Total section 1 & 2 untuk keadaan statis yaitu
 $2,72 \text{ N} + 4,98 \text{ N} = 7,7 \text{ N}$

Kecepatan Maksimum yang diizinkan pada saat belok

Perhitungan mengenai kecepatan putar mobil saat berbelok pada radius tertentu perlu untuk di analisa untuk mencegah mobil terbalik di tikungan. Beberapa faktor yang penting untuk di analisa seperti kecepatan mobil ketika akan memasuki tikungan, radius, gaya gesek dan gaya normal pada mobil marapi evo 1. Untuk mengetahui berapa kecepatan yang aman ketika mobil marapi evo 1 akan berbelok dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

Pada sumbu vertikal

$$\Sigma F = m a$$

$$N - W = m a$$

Karena dalam arah vertikal tidak terjadi gerak, maka percepatan sama dengan 0

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m g$$

Diketahui :

$$m = 99,1 \text{ kg}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$N = m g$$

$$N = 99,1 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$N = 971,18 \text{ N}$$

Pada sumbu Horizontal

Pada sumbu horizontal, hanya bekerja gaya gesek statis f_s , gaya ini bekerja radial dan menuju pusat lingkaran. Sehingga untuk menentukan nilai tersebut digunakan hukum Newton II pada gerak melingkar sebagai berikut:

$$F_s = m a_s$$

$$\mu_s N = m a_s$$

$$\mu_s m g = m a_s$$

Karena $a_s = v^2/R$

$$\mu_s m g = m v^2/R$$

$$\mu_s g R = v^2$$

$$v = \sqrt{\mu_s g R}$$

Diketahui :

v_{maks} = kecepatan maksimum

μ_s = koefisien gesek statis

R = jari - jari lintasan

g = percepatan gravitasi

berdasarkan permasalahan diatas maka dapat ditentukan berapa kecepatan maksimum yang diperbolehkan untuk berbelok dengan aman.

Diketahui :

$$R = 6 \text{ m}$$

$$\mu_s = 0,5$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v = \sqrt{\mu_s g R}$$

$$v = \sqrt{(0,5 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 6 \text{ m})}$$

$$v = \sqrt{(29,4)} \text{ m/s}$$

$$v = 5,42 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan maksimum yang diperbolehkan ketika mobil marapi evo bermanuver pada radius 6m adalah 5,42 m/s

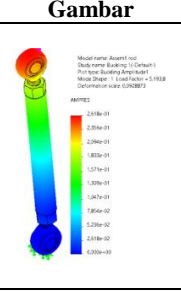
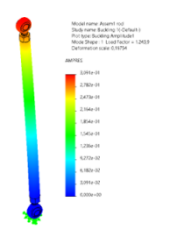
Analisa buckling

Analisa buckling dilakukan dengan menggunakan software solidwork, hal ini ditujukan agar analisa yang dilakukan lebih spesifik dan mendetail terkait komponen yang mengalami gaya tersebut. berikut beberapa spesifikasi yang dimasukkan kedalam perhitungan bukling pada software solidwork :

Tabel 4. Analisa *Buckling* saat kendaraan dalam keadaan statis

No	Material	Force	Hasil	Gambar
1	Alloy Steel	2.72 N	12.83	
2	Alloy Steel	4.98 N	3.112	

Tabel 5. Analisa *Buckling* saat kendaraan dalam keadaan dinamis

No	Material	Force	Hasil	Gambar
1	Alloy Steel	6.72 N	5.193	
2	Alloy Steel	12.46 N	1.243	

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan Analisa data, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Ketentuan regulasi KMHE 2021 dengan radius belok maksimal 8m atau kurang, dapat ditempuh mobil marapi evo 1 dengan radius belok 6m dengan menggerakkan roda kemudi sebesar 20,66°.

Prinsip ackerman besar sudut inner wheel lebih besar dari pada sudut outer wheel pada saat berbelok, pada mobil marapi evo 1 besar sudut inner wheel sebesar 19,42° dan outer wheel sebesar 17,52°.

Track width dengan wheelbase terhadap kendaraan berimbang terhadap radius belok kendaraan, apabila track width < wheel base maka radius belok pada kendaraan lebih kecil ketimbang wheel base > trackwidth.

Kecepatan maksimum yang diperbolehkan Ketika mobil marapi evo 1 bermanuver pada radius 6m adalah 5,42 m/s.

Analisa buckling dilakukan menggunakan bantuan software solidwork dengan menggunakan kriteria aman apabila load factor pada tie rod ≥ 1 maka dapat dikatakan aman untuk digunakan apabila load factor < 1 maka komponen tidak aman untuk digunakan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh sivitas akademika Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] A. Nurrahman, Y. Dewanto, and E. Maulana, "Pemodelan dan Simulasi Stabilitas Sistem Kemudi Sepeda Motor Roda Tiga untuk Penyandang Disabilitas," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 69–75, 2018.
- [2] W. T. Putra and M. Malyadi, "Analisa Uji Performasi Sistem Kemudi, Trnasmisi, dan Sistem Pengereman pada Mobil Listrik Tipe Urban Concept Warok V.1.1," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.891.
- [3] I. K. Reksowardojo, E. Firmansyah, B. A. Dwiyantoro, D. Widhiyanuriyawan, A. S. Baskoro, and W. Witantyo, "Pedoman kontes mobil hemat energi tahun 2021," 2021.
- [4] D. Pratama, "Perancangan Kemudi Kendaraan Listrik Penghindar Halangan Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.21063/jte.2020.3133906.
- [5] I. Adzanta and U. Wasiwitono, "Perancangan dan Analisa Sistem Kemudi Narrow Tilting Vehicle dengan Variasi Trackwidth dan Panjang Suspensi Arm," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. E128–E133, 2016.
- [6] S. Prasetya, "SISTEM BANTUAN KEMUDI KENDARAAN ALAT BERAT JARAK JAUH," *J. Poli-Teknologi*, vol. 21, no. 2, 2022, doi: 10.32722/pt.v21i2.4066.
- [7] W. P. Widi, A. Syehan, and D. A. Sumarsono, "Kinematic Analysis of Triple Ball Tie-rod in Ackermann Steering and Tilting Mechanism for Tricycle Application," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2019, p. 1038.
- [8] R. P. Restuaji, "Perancangan Dan Analisa Sistem Kemudi Dan Sistem Suspensi Narrow Tilting Vehicle." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [9] D. I. Fajar, "Analisa Sistem Kemudi Mobil Listrik Brajawahana ITS Terhadap Kondisi Ackerman," *Tek. Mesin, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Novenmber*, 2015.
- [10] P. Gautam, S. Sahai, and S. S. Kelkar, "Designing variable ackerman steering geometry for formula student race car," *Int. J. Anal. Exp. Finite Elem. Anal.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2021.