

Pengaruh Variasi Sudut Belok dan Kecepatan terhadap Kinerja Sistem Kemudi Singaperbangsa EV-02

Raihan Ahmad Fadhillah^{1*}, Iwan Nugraha Gusniar², Deri Teguh Santoso³, Candan Tabayyun⁴, Orka Maulana Wahyudi⁵, Ardiansyah Arum⁶

^{1,2,3,4,5}Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang

*Penulis Korespondensi, email: 2110631150074@student.unsika.ac.id

Received: 27/05/2025

Revised: 11/06/2025

Accepted: 11/06/2025

Abstract. This study examines the influence of steering angle and speed variations on the steering system performance of the Formula SAE-type electric vehicle. The steering system plays a crucial role in determining the stability, accuracy, and comfort of vehicle maneuvers, especially on narrow and dynamic tracks. Three steering angle variations analyzed are 25°, 30°, and 45°, using a numerical simulation approach with Solidworks software and verified through manual calculations based on vehicle kinematics principles. The primary parameters analyzed include minimum, maximum, and average turning radii, as well as vehicle speed in m/s for each steering angle variation and initial speed. The results show that as the steering angle increases, the turning radius of the vehicle decreases significantly, enabling the vehicle to maneuver more agilely. Additionally, increasing the steering angle and initial speed leads to an increase in the vehicle's actual speed, with the highest value reaching 8.93 m/s at a 45° angle and 25 km/h speed. These findings indicate that a 45° steering angle is the most optimal configuration for enhancing maneuverability and overall vehicle performance. This study makes a significant contribution to the development of efficient, stable, and adaptive steering system designs for various driving conditions, and can serve as a reference for testing electric vehicles on tracks compliant with FSAE standards.

Keywords: Steering system, Turning angle, Turning radius, Speed, Electric vehicle, Formula SAE.

Abstrak. Penelitian ini membahas pengaruh variasi sudut belok dan kecepatan terhadap performa sistem kemudi pada kendaraan listrik tipe Formula SAE. Sistem kemudi memiliki peran penting dalam menentukan stabilitas, akurasi, dan kenyamanan manuver kendaraan, terutama dalam lintasan sempit dan dinamis. Tiga variasi sudut belok yang dianalisis adalah 25°, 30°, dan 45°, dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *Solidworks* dan validasi melalui perhitungan manual berbasis prinsip kinematika kendaraan. Parameter utama yang dianalisis meliputi radius putar minimum, maksimum, rata-rata, serta kecepatan kendaraan dalam satuan m/s pada masing-masing variasi sudut dan kecepatan awal. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok, maka radius putar kendaraan menurun secara signifikan, memungkinkan kendaraan bermanuver dengan lebih lincah. Selain itu, peningkatan sudut belok dan kecepatan awal menghasilkan peningkatan kecepatan aktual kendaraan, dengan nilai tertinggi mencapai 8,93 m/s pada sudut 45° dan kecepatan 25 km/jam. Temuan ini mengindikasikan bahwa sudut belok 45° merupakan konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan kemampuan manuver dan performa kendaraan secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan desain sistem kemudi yang efisien, stabil, dan adaptif terhadap berbagai kondisi pengendaraan, serta dapat digunakan sebagai acuan dalam pengujian kendaraan listrik di lintasan sesuai standar FSAE.

Kata Kunci: Sistem kemudi, Sudut belok, Radius putar, Kecepatan, Kendaraan listrik, Formula SAE

I. PENDAHULUAN

Formula SAE (*Society of Automotive Engineers*) adalah kompetisi desain dan rekayasa kendaraan tingkat mahasiswa, dimana tim mahasiswa merancang, membangun, dan menguji mobil balap jenis formula sesuai dengan aturan teknis yang

ditetapkan. Kompetisi ini bertujuan untuk mengembangkan keterampilan praktis dalam desain otomotif, manajemen proyek, dan kerja tim [1]. Dalam hal ini mahasiswa ditantang untuk merancang sebuah kendaraan listrik dengan jenis tipe

formula *student*, dan nantinya akan diikutsertakan dalam pelombaan nasional maupun internasional.

Dalam proses perancangan kendaraan listrik salah satu aspek terpenting yaitu pada komponen sistem kemudi. Sistem kemudi adalah suatu mekanisme dalam kendaraan yang berfungsi untuk mengarahkan roda depan agar kendaraan dapat bergerak sesuai arah yang diinginkan oleh pengemudi. Sistem ini mentransformasikan gerakan putar dari roda kemudi menjadi gerakan sudut pada roda-roda depan, yang memungkinkan kendaraan berbelok ke arah tertentu. Selain itu, sistem kemudi juga berperan penting dalam memberikan stabilitas kendaraan, kontrol presisi saat berbelok, serta kenyamanan berkendara di berbagai kondisi jalan [2]. Kondisi ackerman yaitu kondisi sudut belok yang diberikan pengemudi sama dengan sudut belok kendaraan. Estimasi radius belok juga sangat penting dalam mempengaruhi sistem kemudi. Nilai radius belok dipengaruhi oleh *wheel base* atau jarak sumbu roda depan dengan roda belakang dan jarak sumbu *track width* atau lebar trek roda samping [3].

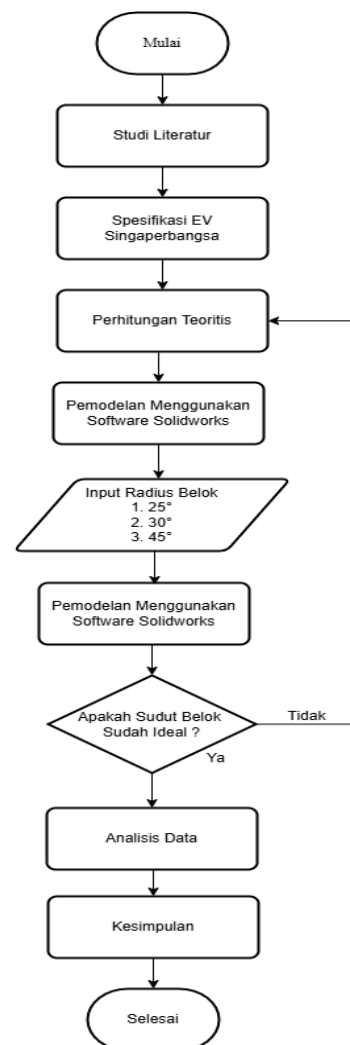
Penelitian terdahulu dari Restuaji, 2016 menyatakan bahwa variasi pada panjang sambungan batang kemudi dan lebar *track* kendaraan memengaruhi rasio sudut belok antara roda dalam dan roda luar secara signifikan. Variasi tersebut dapat memengaruhi nilai minimal radius belok serta tingkat *understeer* atau *oversteer* kendaraan [4]. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya pemilihan parameter desain yang tepat untuk menghasilkan sistem kemudi yang responsif dan aman.

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti merasa perlu adanya analisis yang mendalam terhadap sistem kemudi. Variasi sudut belok 25, 30, 45 derajat yang timbul akibat perubahan konfigurasi sistem kemudi harus dihitung secara cermat guna memastikan kenyamanan dan keamanan berkendara. Pendekatan matematis dan eksperimental merupakan alat bantu yang efektif dalam merancang sistem kemudi yang adaptif untuk berbagai kondisi jalan, khususnya dalam konteks lintasan balap [5]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi

sudut belok terhadap performa sistem kemudi pada kendaraan listrik tipe formula EV Singaperbangsa melalui pendekatan perhitungan teoritis dan simulasi numerik, guna mendukung perancangan sistem kemudi yang responsif dan efisien dalam manuver.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sistem kendaraan terhadap variasi sudut belok dengan pendekatan simulasi dan perhitungan manual. Seluruh rangkaian penelitian dilakukan secara struktur, dimulai dari studi literatur, pembuatan model design kendaraan, menentukan variasi sudut belok, perhitungan teoritis, serta mensimulasikan hasil dari perhitungan manual menggunakan *software solidworks*.



Gambar 1. Diagram alir penelitian analisis sistem kemudi terhadap variasi sudut belok

Pada Gambar 1 yang merupakan alur penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori terkait sistem kemudi kendaraan listrik, dilanjutkan dengan penentuan spesifikasi teknis EV Singaperbangsa sebagai objek penelitian. Selanjutnya dilakukan perhitungan teoritis untuk memperoleh parameter geometri kendaraan seperti pusat massa dan radius putar. Hasil perhitungan ini digunakan dalam proses pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak *Solidworks* dengan variasi sudut belok sebesar 25° , 30° , dan 45° . Setelah itu, dilakukan analisis data dan penarikan kesimpulan.

A. Spesifikasi singaperbangsa EV-02

Berikut adalah spesifikasi detail mengenai kendaraan EV-02

Tabel 1. Spesifikasi singaperbangsa EV-02

Nama Bagaian	Keterangan
Material Chassis	<i>Tubular Space Frame</i>
Baterai	LIFEPO4 / 30 AH
Motor Penggerak	BLDC 2kW
Controller	Votol EM-100S
Body	<i>Fiber Glass</i>
Diameter Velg	13 Inch
Sistem Suspensi	<i>Push Rod/Pull Rod</i>
Transmisi	<i>Sproket and Chain</i>
Sistem Pengereman	<i>Disk Brake Double Piston</i>
Track Width	1100 mm
Wheelbase	1300 mm
Pengaman Electric	<i>Miniature Circuit Breaker (MCB) Emergency Button</i>

B. Spesifikasi lintasan balap

Dalam proses evaluasi kinerja sistem kemudi pada kendaraan listrik tipe formula, diperlukan lintasan uji yang merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Salah satu aspek penting dalam pengujian tersebut adalah lintasan balap, yang menjadi tempat pengujian dan percobaan bermanuver kendaraan

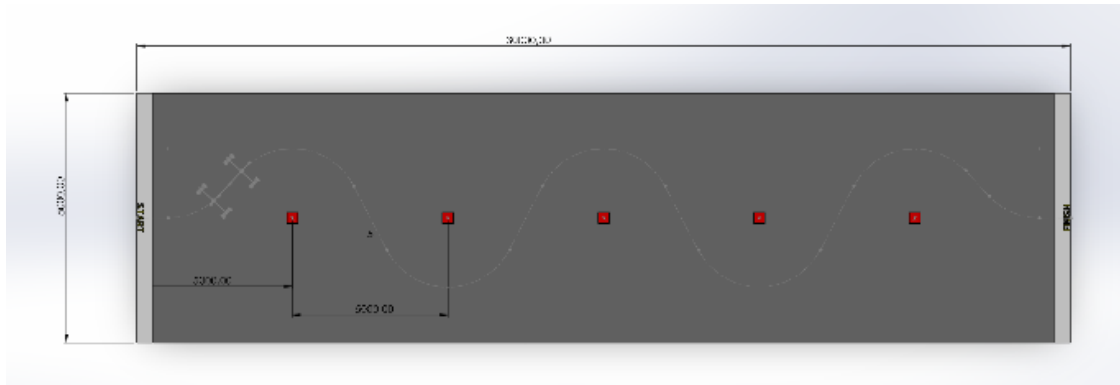
listrik singaperbangsa, seperti berbelok, mempercepat, dan menghindari rintangan.

Dapat dilihat berdasarkan Gambar 2 diterangkan bahwa lintasan balap yang dipergunakan dalam kegiatan lomba balap kendaraan listrik yang diselenggarakan oleh FSAE (*Formula Student Automotive Engineer*). Bahwa panjang lintasan 30 m, lebar lintasan 8 m, setiap jarak *cone* berjarak 5 m dan tersedianya 5 *cone* dalam lintasan tersebut.

C. Perhitungan teoritis

Perhitungan teoritis adalah pendekatan analitis yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknis dengan menerapkan prinsip-prinsip matematika dan fisika melalui penggunaan persamaan atau model yang relevan. Metode ini memungkinkan para insinyur dan ilmuwan untuk memprediksi perilaku sistem atau fenomena tertentu tanpa perlu melakukan eksperimen fisik secara langsung. Pendekatan ini sangat penting dalam tahap awal perancangan dan analisis sistem, karena memungkinkan evaluasi awal terhadap kinerja dan keandalan desain sebelum dilakukan prototipe fisik. Dengan demikian, perhitungan teoritis dapat menghemat waktu dan sumber daya dalam proses pengembangan produk [6]. Rumus persamaan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

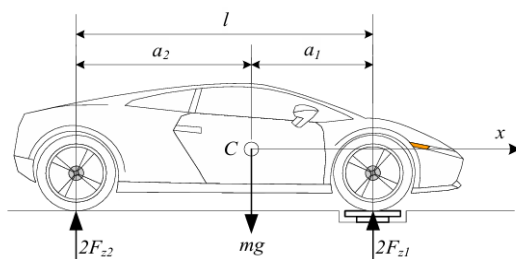
1. Mencari nilai *center of mass*, sumbu roda depan dan sumbu roda belakang.
2. Menghitung jarak *center of rotation* (R1).
3. Menghitung *outer wheel* kendaraan
4. Menghitung rata-rata nilai sudut belok
5. Menghitung dengan rumus persamaan radius putar kendaraan.
6. Menghitung nilai R-min
7. Menghitung nilai R-max
8. Menghitung rata radius putar kendaraan



Gambar 2. Spesifikasi lintasan balap

a. *Center of mass*

Pusat gravitasi kendaraan *center of mass*, di mana suspensi dipasang dengan mulus, mencegah kendaraan berbelok, disebut sebagai pusat gravitasi. Asal usul titik keseimbangan kendaraan adalah nama lain dari pusat gravitasi. Pusat gravitasi mobil dan pusat gravitasi kendaraan roda empat akan berfungsi sebagai saluran untuk semua gaya akselerasi yang bekerja pada kendaraan. Untuk mengurangi momen yang diperoleh saat kendaraan mengalami gaya lateral [7].



Gambar 3. *Center of mass* [9]

Posisi *center of mass* sangat memengaruhi kestabilan, manuver, distribusi beban, dan perilaku mobil saat berakselerasi, menikung, maupun mengerem melalui perhitungan ini *center of mass* terdapat dasar penting untuk memastikan kendaraan memiliki karakteristik pengendalian dan keamanan yang optimal. Rumus dalam menghitung *center of mass*, yaitu:

$$a_1 \frac{2l}{mg} F_{z2} \quad (1)$$

$$a_2 \frac{2l}{mg} F_{z1} \quad (2)$$

Dimana, yaitu:

a_2 = CoG Jarak Posisi dari Roda Belakang (mm)

a_1 = CoG Jarak Posisi dari Roda Depan (mm)

l = *Wheelbase* (mm)

f_{z1} = Berat Kendaraan Depan (N)

f_{z2} = Berat Kendaraan Belakang (N)

m = Berat Total Kendaraan (kg)

g = Gravitasi Bumi 9,81 (m/s²)

b. *Center of rotation*

Center of rotation merupakan titik imajiner di permukaan jalan yang menjadi pusat lingkaran putar kendaraan ketika kemudi dibelokkan. Posisi titik ini dipengaruhi oleh geometri sistem kemudi, sudut belok roda depan, serta konfigurasi sumbu roda kendaraan [9].

Dalam metode penelitian ini, penentuan *center of rotation* digunakan untuk menganalisis bagaimana variasi sudut belok memengaruhi lintasan kendaraan, serta untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi sistem kemudi yang dirancang. Dengan mengetahui lokasi *center of rotation*, dapat dihitung radius putar kendaraan serta dievaluasi kestabilan dan kemampuan manuver kendaraan listrik tersebut dalam berbagai kondisi belokan[10]. Adapun rumus dalam menghitung *center of mass*, yaitu:

$$R_1 = l \cdot \cot \delta_i + \frac{1}{2} \cdot w \quad (3)$$

Dimana, yaitu:

R_1 = jarak dari pusat rotasi ke pusat massa kendaraan (radius belok dalam)

l = jarak sumbu roda (*wheelbase*)

w = lebar jejak roda (*track width*)

δ_1 = sudut belok roda bagian dalam

c. Outer wheel angle

Sudut belok roda luar (*outer wheel angle*) merujuk pada sudut deviasi roda luar dari posisi lurus saat kendaraan membelok. Penentuan sudut ini penting untuk menghindari selip ban, mengurangi keausan, serta meningkatkan kestabilan dan kenyamanan berkendara. Perhitungan sudut ini dipengaruhi oleh sudut belok roda dalam serta konfigurasi dimensi kendaraan. Dalam desain sistem kemudi, pemahaman dan penerapan rumus sudut belok roda luar menjadi krusial dalam memastikan bahwa setiap roda mengikuti lintasan yang sesuai ketika kendaraan melakukan manuver, terutama pada kecepatan rendah atau dalam ruang terbatas [11]. Adapun rumus dalam menghitung *outer wheel angle*, yaitu:

$$\delta_o = \cot^{-1}\left(\frac{w}{l} + \cot\delta_i\right) \quad (4)$$

Dimana, yaitu:

- δ_o = sudut belok roda luar
- δ_i = sudut belok roda dalam
- L = *wheelbase* (jarak antar sumbu roda depan dan belakang)
- w = *track width* (jarak antara roda kiri dan kanan pada satu sumbu)

d. Turning radius

Radius putar kendaraan merupakan parameter penting dalam perancangan sistem kemudi dan evaluasi kemampuan manuver kendaraan, terutama saat berkendara di ruang terbatas seperti parkir atau saat melakukan putaran balik [12]. Radius ini menunjukkan seberapa besar lengkungan atau lingkaran yang dibentuk oleh lintasan roda kendaraan saat melakukan manuver belok penuh. Adapun rumusnya yaitu:

$$R = \sqrt{a_2^2 + l^2 \cdot \cot^2 \delta} \quad (5)$$

Dimana, yaitu:

- R = Radius putar kendaraan (*Turning Radius*)
- a_2 = Jarak lateral dari pusat putar ke roda luar (tergantung konteks geometri kendaraan).
- l = Jarak sumbu roda atau *wheelbase*
- δ = Sudut belok roda depan (biasanya roda bagian dalam atau sudut rata-rata belok depan), dalam derajat atau radian.
- $\cot\delta$ = *Cotangen* dari sudut belok.

Adapun dalam mencari radius putar kendaraan terdapat radius putar minimum dan maksimum yang terdapat rumusnya adalah sebagai berikut:

$$R_{min} = R_1 - \frac{1}{2} \cdot w \quad (6)$$

Dimana dari rumus minimum, yaitu:

- R_{min} = Radius putar minimum dari pusat kendaraan (*centerline turning radius*)
- R_1 = Radius putar roda depan bagian dalam (*inner front wheel turning radius*)
- w = *Track width*

Sedangkan untuk rumus maksimum, yaitu:

$$R_{max} = \sqrt{(R_{min} + w)^2 + (l + g)^2} \quad (7)$$

Dimana dari rumus maksimum, yaitu:

- R_{max} = Radius putar maksimum (*maximum turning radius*)
- R_{min} = Radius putar minimum kendaraan, yaitu jarak dari pusat putar ke titik tengah kendaraan (*centerline*).
- w = *Track width* roda (jarak antar roda kiri-kanan).
- l = *Wheelbase* (jarak antara sumbu roda depan dan belakang).
- g = *Overhang* belakang/jarak sumbu roda belakang ke ujung belakang kendaraan.

Dalam menggambarkan selisih atau variasi antara radius putar maksimum dan minimum suatu kendaraan. Rata-rata radius putar, maka rumusnya dari radius putar yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta R = R_{max} - R_{min} \text{ (rata - rata)} \quad (8)$$

Dimana, yaitu:

- R_{avg} = Rata-rata radius putar kendaraan (*average turning radius*)
- R_{max} = Radius putar maksimum
- R_{min} = Radius putar minimum
- ΔR = Selisih antara radius maksimum dan minimum

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses simulasi dan perhitungan manual yang telah dilakukan untuk menganalisis pengaruh

variasi sudut belok terhadap sistem kemudi kendaraan listrik Singaperbangsa. Analisis dilakukan dengan pendekatan kinematika menggunakan bantuan perangkat lunak *Solidworks* serta metode analitis berdasarkan rumus-rumus yang telah dijabarkan pada Bab II. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan sudut belok terhadap radius putar kendaraan dan bagaimana sistem kemudi merespon terhadap perubahan tersebut serta untuk mengetahui kecepatan yang optimal. Tiga variasi sudut belok yang diuji adalah 25°, 30°, dan 45°, yang dipilih untuk merepresentasikan kondisi manuver. Dengan melakukan perhitungan teoritis, diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai performa dan efisiensi sistem kemudi kendaraan dalam berbagai skenario belokan. Hasil ini juga memberikan landasan bagi optimalisasi desain sistem kemudi agar kendaraan mampu bermanuver secara lincah dan aman dalam kompetisi maupun penggunaan nyata.

Perhitungan manual dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai radius putar minimum (R_{min}), maksimum (R_{max}), serta rata-rata radius putar (R_{avg}) pada tiap variasi sudut belok. Berdasarkan rumus yang digunakan, dapat diketahui bahwa semakin besar sudut belok roda bagian dalam (δ_i), maka nilai $\cot(\delta_o)$ semakin kecil, yang mengakibatkan radius putar total juga berkurang. Ini berarti kendaraan mampu bermanuver dengan radius yang lebih sempit, yang ideal untuk lintasan sempit seperti pada kompetisi Formula SAE. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2.

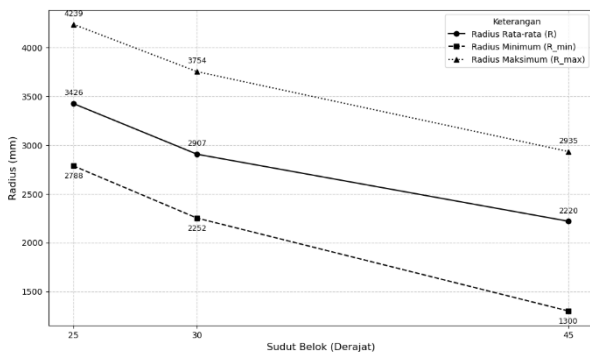
Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam Tabel 2, dapat diamati bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara besar sudut belok dengan radius putar kendaraan. Ketika sudut belok ditingkatkan dari 25°, 30°, hingga 45°, terjadi penurunan nilai radius putar R_1 , radius rata-rata (R), serta radius minimum (R_{min}). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok roda depan, maka kendaraan dapat melakukan manuver belokan dengan lintasan yang lebih sempit, atau dengan kata lain, radius putarnya menjadi lebih kecil.

Tabel 2. Hasil perhitungan manual radius putar pada tiap sudut belok

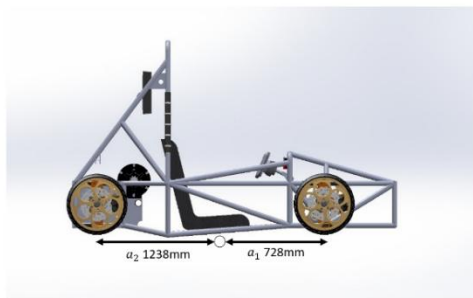
25 Derajat						
R_1	δ_o	δ	R	R_{min}	R_{max}	ΔR
3337.85m m	18.48°	21.28°	3426.41m m	2787.85m m	4239.28m m	1451.43m m
30 Derajat						
R_1	δ_o	δ	R	R_{min}	R_{max}	ΔR
2802mm	21.17°	24.87°	2906.9mm	2252mm	3753.93m m	1501.93m m
45 Derajat						
R_1	δ_o	δ	R	R_{min}	R_{max}	ΔR
1890mm	24.44°	32°	2220.07m m	1300mm	2935.32m m	1635.32m m

Dengan demikian sesuai pada buku William F. Milliken dkk, (1995) yaitu penurunan radius putar ini sejalan dengan prinsip geometri kemudi Ackermann, yang dirancang agar roda-roda depan mengikuti lintasan melingkar yang sesuai saat berbelok [13]. Semakin besar sudut belok roda dalam, maka lintasan kendaraan akan semakin pendek, yang penting dalam manuver tajam seperti pada kendaraan balap atau kendaraan listrik kecil dengan begitu bahwa konfigurasi sudut belok sangat memengaruhi kelincahan kendaraan dalam kondisi radius putar minimum.

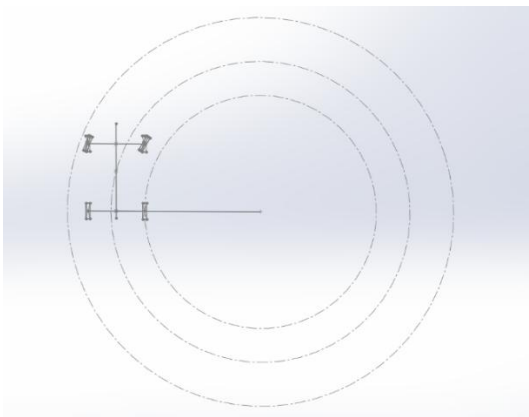
Dilihat pada sudut belok 25°, nilai radius rata-rata kendaraan mencapai 3426,41 mm, sedangkan pada sudut belok 45°, radius tersebut menurun drastis menjadi 2220,07 mm. Penurunan ini konsisten juga terlihat pada nilai R_{min} dan R_{max} . Perbedaan atau selisih antara radius maksimum dan minimum (ΔR) juga cenderung meningkat seiring bertambahnya sudut belok, dari 1451,43 mm pada 25° menjadi 1635,32 mm pada 45°. Ini mengindikasikan bahwa pada sudut belok besar, rentang putar kendaraan juga makin lebar, yang bisa berdampak pada kestabilan kendaraan saat bermanuver. Pada Grafik 1 memperjelas bagaimana setiap parameter radius merespons terhadap perubahan sudut kemudi.



Grafik 1. Radius putar kendaraan terhadap sudut belok



Gambar 4. Center of mass

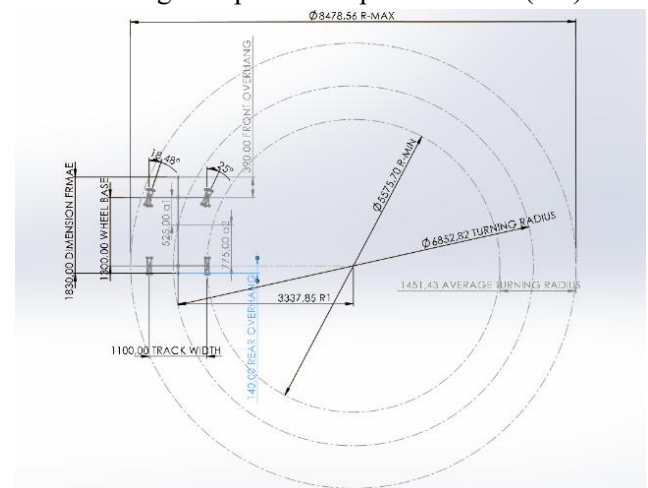


Gambar 5. Pemodelan EV-singaperbangsa menggunakan software Solidworks

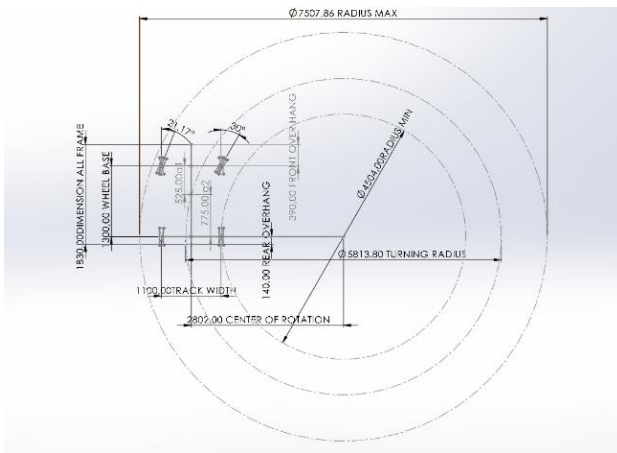
Berdasarkan hasil perhitungan manual terhadap radius putar kendaraan pada masing-masing sudut belok, diketahui bahwa terjadi penurunan nilai radius seiring dengan bertambahnya sudut belok yang diberikan. Pada sudut belok 25°, nilai radius rata-rata (R) tercatat sebesar 3426,41 mm, dengan radius minimum (R_min) sebesar 2787,85 mm dan radius maksimum (R_max) sebesar 4239,28 mm. Ketika sudut belok dinaikkan menjadi 30°, radius rata-rata turun menjadi 2906,90 mm, R_min menjadi 2252 mm, dan R_max menurun ke 3753,93

mm. Selanjutnya, pada sudut belok tertinggi yaitu 45°, radius rata-rata menurun signifikan menjadi 2220,07 mm, dengan R_min sebesar 1300 mm dan R_max sebesar 2935,32 mm. Penurunan nilai radius ini sejalan dengan prinsip dasar sistem kemudi, di mana peningkatan sudut belok roda menghasilkan lintasan belok yang semakin sempit, sehingga memperkecil radius putar kendaraan [14]. Selain itu, selisih antara radius maksimum dan minimum (ΔR) juga menunjukkan tren meningkat seiring bertambahnya sudut belok, yakni sebesar 1451,43 mm pada sudut 25°, 1501,93 mm pada sudut 30°, dan 1635,32 mm pada sudut 45°. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok, maka variasi lintasan yang dilalui antara roda dalam dan roda luar juga semakin tinggi, yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem kemudi untuk menjaga kestabilan dan kenyamanan berkendara. Setelah dilakukan perhitungan teoritis maka proses selanjutnya yaitu mengaplikasikan hasil perhitungan teoritis menggunakan *software solidworks*.

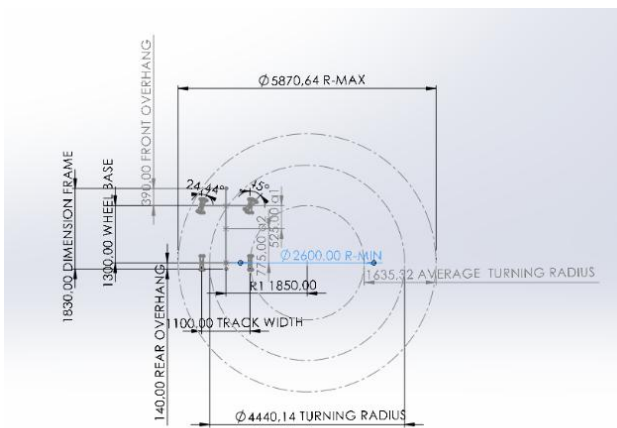
Permodelan sistem kemudi yang dirancang mampu beroperasi dalam perancangan yang dilakukan dan untuk memvisualisasikan hasil dari perhitungan teoritis dari variasi sudut yaitu 25°, 35° dan 45° dengan dapat dilihat pada Gambar (5-7).



Gambar 6. Pemodelan hasil perhitungan teoritis menggunakan variasi 25



Gambar 7. Pemodelan hasil perhitungan teoritis menggunakan variasi 30°



Gambar 8. Pemodelan hasil perhitungan teoritis menggunakan variasi 45°

Adapun data dari kecepatan kendaraan listrik Singaperbangsa menunjukkan variasi yang cukup signifikan terhadap perubahan sudut belok dan kecepatan laju kendaraan. dapat diamati pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh variasi sudut dan kecepatan awal terhadap kecepatan dalam satuan m/s

Variasi Sudut	Kecepatan
25 Derajat	10 km/jam = 8,65 m/s
	20 km/jam = 8,69 m/s
	25 km/jam = 8,73 m/s
30 Derajat	10 km/jam = 8,73 m/s
	20 km/jam = 8,69 m/s
	25 km/jam = 8,73m/s
	10 km/jam = 8,76 m/s

45 Derajat	20 km/jam = 8,84 m/s
	25 km/jam = 8,93 m/s

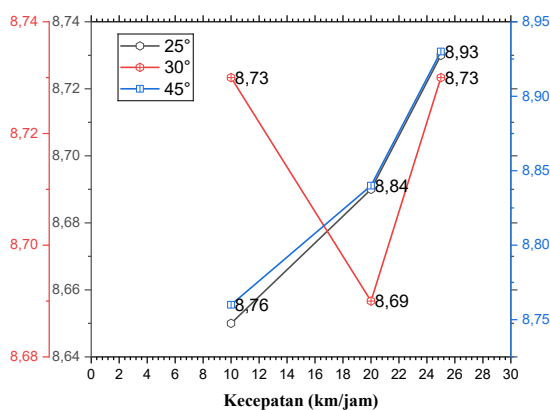
Dilihat pada Tabel 3. bahwa kecepatan kendaraan listrik Singaperbangsa EV-02 menunjukkan variasi yang cukup signifikan terhadap perubahan sudut belok dan kecepatan laju kendaraan. Pada sudut belok 25 derajat, kecepatan kendaraan meningkat secara bertahap dari 8,65 m/s pada 10 km/jam, menjadi 8,69 m/s pada 20 km/jam, dan mencapai 8,73 m/s saat kecepatan 25 km/jam. Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut belok yang lebih kecil, peningkatan kecepatan kendaraan linear terhadap peningkatan kecepatan input.

Selanjutnya, pada sudut belok 30 derajat, kecepatan kendaraan sedikit bervariasi. Kecepatan pada 10 km/jam tercatat sebesar 8,73 m/s, sedikit lebih tinggi dibandingkan kecepatan pada 20 km/jam yang mencapai 8,69 m/s. Namun, kecepatan kembali meningkat menjadi 8,73 m/s saat kendaraan melaju pada 25 km/jam. Hal ini mengindikasikan bahwa pada sudut 30 derajat, terdapat fluktuasi kecepatan meskipun selisihnya relatif kecil.

Adapun pada sudut belok 45 derajat, terlihat bahwa kecepatan kendaraan meningkat secara lebih konsisten dibandingkan dua sudut sebelumnya. Pada kecepatan 10 km/jam, kendaraan mencatat kecepatan 8,76 m/s, kemudian meningkat menjadi 8,84 m/s pada 20 km/jam, dan mencapai 8,93 m/s pada 25 km/jam. Kenaikan ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok, semakin besar pula pengaruh kecepatan kendaraan terhadap kinerja sistem kemudi, yang tercermin dari besarnya kecepatan aktual yang dicapai.

Temuan ini juga diperkuat oleh Zhang dkk., (2013) yang menyatakan bahwa pada kendaraan listrik kecil, peningkatan sudut belok memperbesar efek sudut slip dan torsi putar, sehingga dapat memengaruhi kestabilan arah kendaraan pada kecepatan tinggi [15]. Oleh karena itu, pada kecepatan lebih tinggi dan sudut belok besar, sistem kemudi perlu didesain dengan akurasi geometri untuk menjaga respons kendaraan tetap proporsional dan aman.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa variasi sudut belok dan kecepatan kendaraan memberikan dampak langsung terhadap output kecepatan kendaraan listrik singaperbangsa. Peningkatan sudut belok cenderung memperbesar kecepatan kendaraan secara progresif saat kecepatan laju dinaikkan. Temuan ini dapat menjadi acuan penting dalam optimalisasi sistem kemudi pada kendaraan listrik singaperbangsa untuk menjaga stabilitas dan performa kendaraan saat bermanuver pada berbagai kecepatan.



Grafik 2. Perbandingan kecepatan simulasi pada berbagai sudut belok kendaraan EV-Singaperbangsa 02

Berdasarkan Grafik 2, secara umum terlihat bahwa peningkatan kecepatan kendaraan menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kecepatan hasil simulasi, terutama pada sudut belok 45° yang konsisten memberikan nilai tertinggi. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada sudut 30°, pola yang ditampilkan tetap mencerminkan hubungan antara sudut belok dan respons kecepatan kendaraan. Interpretasi ini mendukung hasil yang telah dijabarkan pada Tabel 2 sebelumnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dapat disimpulkan bahwa kecepatan dalam satuan meter per detik (m/s) cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan awal dalam satuan kilometer per jam (km/jam), serta variasi sudut juga dapat memberikan pengaruh terhadap hasil kecepatan akhir. Pada sudut 25° dan 30°, kecepatan cenderung stabil di kisaran 8,65–8,73 m/s, dengan sedikit peningkatan saat kecepatan

awal dinaikkan. Namun, pada sudut 45°, kecepatan menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan, yakni dari 8,76 m/s pada 10 km/jam hingga mencapai 8,93 m/s pada 25 km/jam. Hal ini menunjukkan bahwa sudut 45° menghasilkan kecepatan tertinggi dibandingkan dengan sudut 25° dan 30°, terutama pada kecepatan awal yang lebih tinggi. Dengan demikian, kombinasi antara sudut elevasi dan kecepatan awal sangat mempengaruhi hasil kecepatan dalam satuan m/s, dan sudut 45° dapat dianggap sebagai sudut yang paling optimal.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dapat menentukan dan mempertimbangkan wheelbase dan *track width*, serta variasi sudut belok dan kecepatan guna mencapai performa yang optimal dalam pengujian di lintasan balap yang sudah sesuai standar FSAE.

REFERENSI

- [1] C. HERNANDEZ-URBANO, J. de J. CORDERO-GURIDI, C. J. NOCHEBUENA-TIRADO, dan J. Á. VILLARREAL-CHAPA, “Numerical and experimental analysis of the bodywork of a Formula SAE 2023 type vehicle,” *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 19, hlm. 21, Jun 2023.
- [2] F. Cai, H. Zhao, B. Sun, dan L. Sun, “Design Optimization of FSAE Car Steering System,” *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, vol. 53, no. 4, hlm. 1–9, Des 2023.
- [3] R. Aditya dan G. V. Golwa, “ANALISIS PENGARUH JARAK SUMBU RODA TERHADAP RADIUS BELOK PADA MOTOR LISTRIK E-NIAGA GENI BIRU 3 RODA,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 3, hlm. 2, Okt 2023.
- [4] R. P. Restuaji dan U. Wasiwitono, “Perancangan dan analisa sistem kemudi dan sistem suspensi quadrilateral pada narrow tilting vehicle,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, hlm. E122–E127, 2016.
- [5] B. Setyono dan R. Salam, “Analisis Perilaku Belok Sistem Steering Mobil Hibrid BED-18 Penggerak Udara Bertekanan dan Motor Listrik,” *Prosiding Seminar Nasional Sains dan*

- Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, hlm. 439–446, 2019.
- [6] B. Auder, A. De Crecy, B. Iooss, dan M. Marques, “Screening and metamodeling of computer experiments with functional outputs. Application to thermal–hydraulic computations,” *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 107, hlm. 122–131, 2012.
- [7] NURUL ARIFIN, “OPTIMALISASI ENDURANCE PADA SINGAPERBANGSA ELECTRIC VEHICLE ANOBRAIN TUGAS AKHIR,” University Of Singaperbangsa Karawang, Karawang, 2023.
- [8] R. N. Jazar, *Vehicle Dynamics: Theory and Application*, 2 ed. Springer Science & Business Media, 2008.
- [9] V. Bhagat, A. Desai, dan S. Sankpal, “Design, Analysis and Optimization of Steering System,” *IJIRT*, vol. 6, no. 8, 2020.
- [10] J.-S. Zhao, X. Liu, Z.-J. Feng, dan J. S. Dai, “Design of an Ackermann-type steering mechanism,” *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci*, vol. 227, no. 11, hlm. 2549–2562, Nov 2013, doi: 10.1177/0954406213475980.
- [11] S. Chougule dan J. Avatade, “Design and Development of Ackerman Steering System for Formula Student Vehicle,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2023, [Daring]. Tersedia pada: www.irjet.net
- [12] N. T. Anh, H. T. Binh, dan T. Van Thang, “Establishing the State Function to Determine the Turning Radius of the Vehicle When Steering,” *Universal Journal of Mechanical Engineering*, vol. 8, no. 2, hlm. 129–134, Mar 2020, doi: 10.13189/ujme.2020.080207.
- [13] William F. Milliken dan Douglas L. Milliken, *Race Car Vehicle Dynamics*. 1995.
- [14] I. M. Mara, A. A. A. Triadi, dan A. S. Rahmawan, “ANALISIS SUDUT BELOK DAN KECEPATAN TERHADAP RADIUS BELOK MOBIL LISTRIK,” *Energy, Materials and Product Design*, vol. 2, no. 1, hlm. 99–106, Mei 2023, doi: 10.29303/empd.v2i1.2195.
- [15] Z. Zhang, K. T. Chau, dan Z. Wang, “Analysis and Stabilization of Chaos in the Electric-Vehicle Steering System,” *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 62, no. 1, hlm. 118–126, Jan 2013, doi: 10.1109/TVT.2012.2217767.