

ANALISIS SUDUT BELOK DAN KECEPATAN TERHADAP RADIUS BELOK MOBIL LISTRIK

ANALYSIS OF TURNING ANGLE AND SPEED OF ELECTRIC VEHICLE TURNING RADIUS

I Made Mara*, Anak Agung Alit Triadi, Andrian Suci Rahmawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62 Mataram – 83125

*Corresponding author

E-mail addresses: made.mara@unram.ac.id

<https://doi.org/10.29303/empd.v2i1.2195>

Received 6 February 2023; Received in revised form 15 May 2023; Accepted 25 May 2023

ABSTRACT

As the number of cars increases, the number of accidents that occur is directly proportional to the number of accidents that occur, namely 117,949 cases and this increases by around 8.3% annually, mostly due to driver negligence and lack of vehicle stability. One important aspect in car design is the steering system which influences the response of the vehicle's steering motion to steering wheel input and has a major influence on comfort as well as safety. In this study determined the turning radius at various speeds and turning angles and studied the effect of the ratio of the turning angle to the turning angle of an electric car. In the analysis phase, calculations are carried out based on slip analysis to obtain the turning radius at various speeds and turning angles, and the ratio of the turning angle to the turning angle of the electric car. At the testing stage it is carried out by determining the steer rotation angle based on the specified turning angle. The results of this study are at a speed of 30 km/h with a turning angle of 240° resulting in the smallest turning radius, that is, in the analysis of 5.5 m and 5.75 m of experiment and the smallest percentage of turning radius, namely the results of the analysis are 4% smaller than the experimental results. At a speed of 50 km/h with a turning angle of 150° produces the largest turning radius, namely, in the analysis of 9.5 m and 9.0 m experiments and the greatest percentage of turning radius, namely the results of the analysis are 13% smaller than the experimental results.

Keywords: Turning radius, Turning angle, Steering ratio, Electric car

1. Pendahuluan

Periode 2013-2017 tercatat suatu peningkatan cukup besar pada seluruh jenis kendaraan yakni 7,40% di setiap tahun [1]. Hal ini menyebabkan pencemaran sebagai masalah seluruh dunia untuk mengurangi emisi CO₂. Tanggal 22 April 2016, Indonesia sudah menandatangani kesepakatan Paris di New York, Amerika Serikat, dengan membicarakan kepada sekretariat *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) tentang niat keterlibatan nasional terhadap usaha seluruh dunia untuk mengurangi imbas dari perubahan iklim [2]. Salah satu solusi dalam mengatasi masalah polusi yaitu, penggunaan kendaraan listrik karena memiliki sumber tenaga yang berasal dari baterai (aki) sehingga sangat ramah lingkungan [3]. Salah satu kendaraan listrik yang hemat energi dan banyak dikembangkan adalah mobil listrik [4]. Mobil listrik diprediksi akan menjadi mobil masa depan, hal ini disebabkan karena semakin berkurangnya sumber daya alam di bumi sehingga perlu diciptakannya

sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan tidak terbatas [5]. Selain itu, Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) juga menyatakan bahwa pada sektor transportasi pemerintah akan melakukan pengembangan kendaraan *hybrid* / listrik pada tahun 2025, untuk roda empat sebanyak 2.200 dan roda dua 2,1 juta [6]. Seiring dengan bertambahnya jumlah mobil di jalanan berbanding lurus dengan angka kecelakaan yang terjadi yaitu 117.949 kasus kecelakaan di Indonesia dan ini naik sekitar 8,3% setiap tahunnya, sebagian besar terjadi karena diakibatkan kelalaian pengemudi dan kurangnya stabilitas kendaraan [7]. Hal ini juga dikuatkan dari analisis yang dilakukan oleh Komisi Nasional Keselamatan dan Transportasi (KNKT) menyebutkan bahwa mobil – mobil di Indonesia kurang memenuhi standar kestabilan [8].

Oleh karena itu, melalui tugas akhir ini dilakukan penelitian yang difokuskan untuk menganalisa radius belok dan rasio sudut putar kemudi terhadap sudut belok kendaraan dengan variasi sudut belok dan kecepatan belok kendaraan. Dari analisa ini diharapkan sebagai bahan pertimbangan dalam pengoperasian serta dalam pengembangan mobil ini kedepannya.

2. Bahan dan Metode

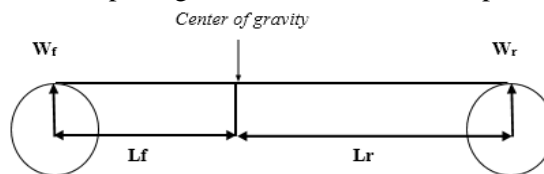
Bahan yang menjadi obyek penelitian ini adalah sebuah kendaraan listrik jenis *city car* yang dibangun oleh Fakultas Teknik Universitas Mataram. Metode analisis dan eksperimen digunakan dalam rangkain membandingkan hasil analisis dengan hasil eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap dimulai dengan studi literatur dan pengukuran kendaraan untuk mendapatkan spesifikasi kendaraan. Terdapat dua tahapan yang dilakukan yaitu tahap analisis dan pengujian. Pada tahap analisis dilakukan perhitungan berdasarkan analisa *slip* untuk mendapatkan radius belok pada variasi kecepatan dan sudut belok, dan rasio sudut putar terhadap sudut belok mobil listrik. Pada tahap pengujian dilakukan dengan menentukan sudut putar steer berdasarkan besar sudut belok yang sudah ditentukan.

Setiap benda yang menempati ruang pasti memiliki massa dan berat. Massa merupakan unsur intrinsik yang dimiliki oleh setiap benda. Jadi massa itu bagian yang tak terpisahkan dari benda dan selalu ada bersama dengan benda tersebut. Sedangkan gaya berat atau biasa pula disebut sebagai gaya gravitasi merupakan besar gaya yang timbul akibat adanya interaksi antar benda bermassa. Titik berat kanton tersebut berada pada pusat bangun datar. Titik berat dapat di cari dengan jumlah dari massa di kali dengan setiap koordinat di bagi dengan total massa seperti Persamaan 1 dan 2.

$$X_G = \frac{M_K \cdot X_K + M_P \cdot X_P + M_B \cdot X_B + M_M \cdot X_M}{M_K + M_P + M_B + M_M} \quad (1)$$

$$Z_G = \frac{M_K \cdot Z_K + M_P \cdot Z_P + M_B \cdot Z_B + M_M \cdot Z_M}{M_K + M_P + M_B + M_M} \quad (2)$$

Perhitungan gaya-gaya pada roda di cari dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar gaya yang dibutuhkan agar sistem kemudi dapat digerakkan dan kendaran dapat berbelok.

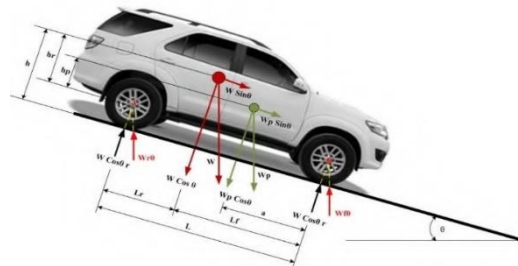


Gambar 1 Gaya – gaya pada roda

Berat yang ditumpu oleh poros roda adalah sebagai berikut.

$$\frac{1}{2} (Wt \cdot Lf - Wr \cdot L) = 0 \quad (3)$$

Berdasarkan Gambar 2, dengan meninjau jumlah momen yang terjadi titik A didapatkan persamaan berikut.



Gambar 2 Free body diagram kendaraan dengan posisi membentuk sudut θ

$$h_r = \frac{W_f \theta \cdot L - W \cdot L_r}{W \cdot \tan \theta} \quad (4)$$

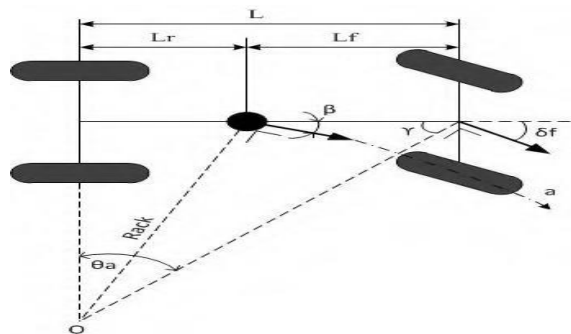
$$h = h_r + r \quad (5)$$

Nilai h_r juga akan berubah akibat adanya penambahan penumpang, sehingga persamaannya akan menjadi sebagai berikut.

$$h_r' = \frac{\sum W_i \cdot h_i}{\sum W_i} \quad (6)$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p} \quad (7)$$

Secara sederhana gerakan kendaraan saat berbelok dengan kondisi *ackerman* tampak seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Kinematika kendaraan belok dengan kondisi *ackerman*

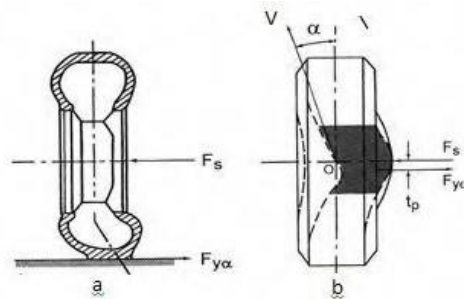
Besarnya radius belok ideal (*ackerman*) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$R_{ack} = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^0} 57,29 \quad (8)$$

Sudut *side slip* kendaraan (β) dapat di hitung secara sederhana dengan menggunakan persamaan trigonometri seperti berikut:

$$\sin \beta = \frac{L_r}{R_{ack}} \quad (9)$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{L_r}{R_{ack}} \right) \quad (10)$$



Gambar 4 Mekanisme terjadinya sudut slip pada ban

Untuk menghitung rasio sudut putar kemudi terhadap sudut belok pada sistem kemudi dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\tan \delta i = \frac{L}{R - \frac{W}{2}} \quad (11)$$

$$\tan \delta o = \frac{L}{R + \frac{W}{2}} \quad (12)$$

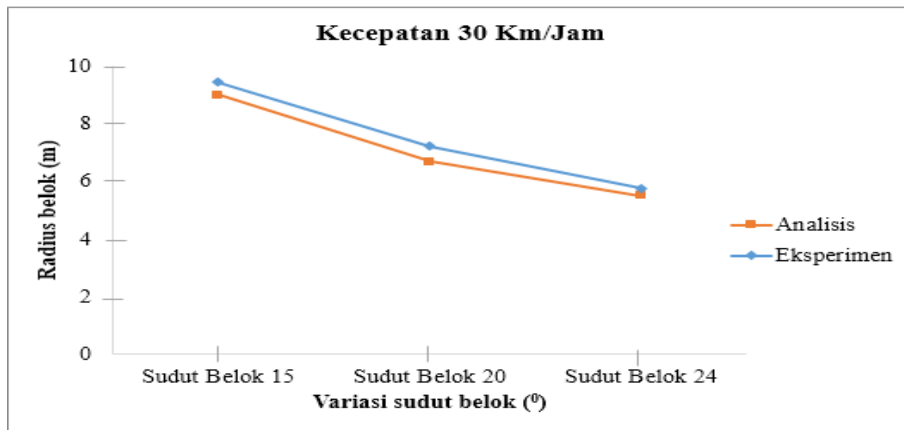
$$\text{Rasio} = \frac{\text{Sudut putar kemudi}}{\text{Sudut belok kendaraan}} \quad (13)$$

Studi eksperimen yaitu dengan melakukan penelitian dan pengujian secara langsung di lapangan untuk mendapatkan data yang tervalidasi. Studi eksperimental yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menguji mobil listrik berbelok dengan variasi sudut belok dan kecepatan kendaraan. Pengujian dilakukan pada saat mobil listrik dijalankan dengan kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam, 50 km/jam dan membentuk pola lingkaran dengan sudut belok mobil yaitu 15°, 20°, 24°. Langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut.

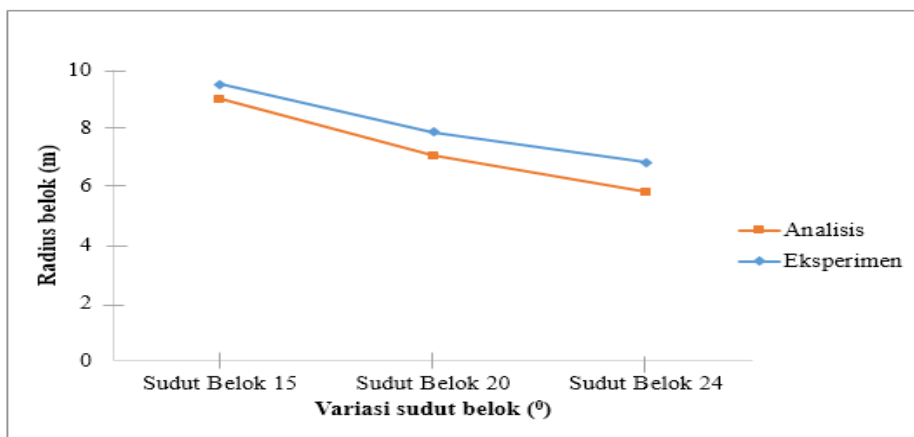
- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam uji eksperimental.
- 2) Mengendarai mobil listrik dengan kecepatan 30 km/jam dan mempertahankannya sampai membentuk pola lingkaran dengan sudut belok 15° kemudian mencatat radius (R) beloknya.
- 3) Menaikkan kecepatan belok kendaraan hingga mencapai kecepatan 40 km/jam dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan sudut belok 15° kemudian mencatat radius (R) beloknya.
- 4) Menaikkan kecepatan belok kendaraan hingga mencapai kecepatan 50 km/jam dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan sudut belok 15° kemudian mencatat radius (R) beloknya.
- 5) Melakukan langkah pengujian yang sama sesuai nomor 1 – 4 dengan sudut belok 20° dan 24°
- 6) Mencatat data hasil pengujian pada tabel.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Gambar 5 bahwa pada kecepatan 30 km/jam, perbedaan radius belok kendaraan pada sudut belok 15° didapatkan dari data analisis yaitu 9 m dan eksperimen 9,44 m, sehingga perbedaan eksperimen dengan analisis adalah 0,44 m. Adapun pada saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 20°, radius belok dari data analisis yaitu 6,67 m dan eksperimen 7,21 m, sehingga perbedaan eksperimen dengan analisis adalah 0,54 m. Perbedaan selanjutnya pada saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 24° data analisis radius belok yaitu 5,5 m dan eksperimen 5,75 m, sehingga perbedaan eksperimen dengan analisis adalah 0,25 m.

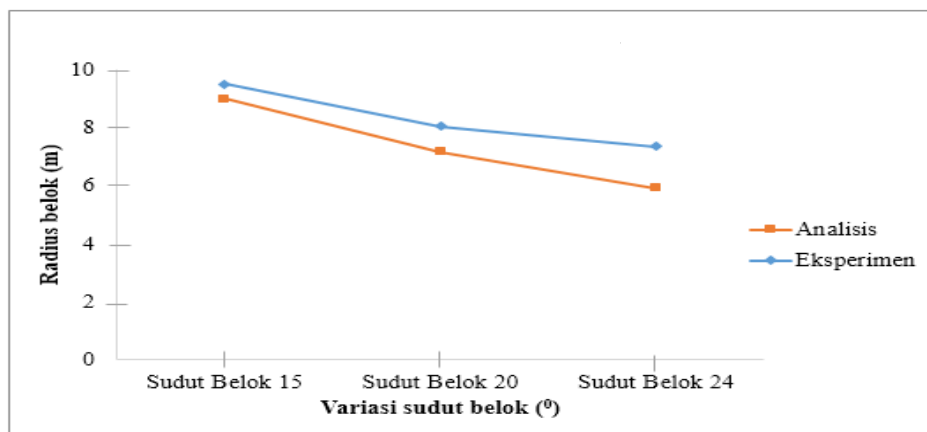


Gambar 5 Hubungan sudut belok terhadap radius belok pada kecepatan 30 km/jam



Gambar 6 Hubungan sudut belok terhadap radius belok pada kecepatan 40 km/jam

Berdasarkan Gambar 6 bahwa pada kecepatan 40 km/jam dengan sudut belok 15° didapatkan radius belok dari data analisis yaitu 9 m dan eksperimen yaitu 9,5 m, sehingga perbedaan radius belok antara eksperimen dengan analisis yaitu 0,5 m. Pada saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 20° data analisis radius belok yaitu 7,05 m dan eksperimen 7,85 m, sehingga perbedaan radius belok antara eksperimen dengan analisis yaitu 0,8 m. Perbedaan selanjutnya saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 24° didapatkan data analisis radius belok yaitu 5,8 m dan eksperimen yaitu 6,42 m, sehingga perbedaan radius belok eksperimen dengan analisis yaitu 0,62 m.



Gambar 7 Hubungan sudut belok terhadap radius belok pada kecepatan 50 km/jam

Berdasarkan Gambar 7 bahwa pada kecepatan 50 km/jam, radius belok kendaraan pada sudut belok 15° diperoleh dari data analisis yaitu 9 m dan eksperimen 9,5 m, sehingga perbedaan radius belok antara eksperimen dengan analisis yaitu 0,5 m. Pada saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 20° data analisis radius belok belok yaitu 7,16 m dan data eksperimen yaitu 8,04 m, sehingga perbedaan radius belok antara eksperimen dengan analisis yaitu 0,88 m. Perbedaan selanjutnya pada saat kendaraan dibelokkan dengan sudut belok 24° data analisis radius belok yaitu 5,9 m dan data eksperimen yaitu 6,75 m, sehingga perbedaan radius belok eksperimen dengan analisis yaitu 0,85 m.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [9] yaitu, pada kecepatan 5 km/jam dengan sudut belok 10° didapatkan radius belok 9,75 m, pada sudut belok 20° didapatkan radius belok yaitu 5,25 m, dan pada sudut belok 30° didapatkan radius belok 3,55 m. Selanjutnya pada kecepatan 10 km/jam dengan sudut belok 10° didapatkan radius belok 10,6 m, dengan sudut belok 20° didapatkan radius belok yaitu 6,1 m, dan sudut belok 30° didapatkan radius belok 3,85 m. Pada kecepatan 15 km/jam dengan sudut belok 10° didapatkan radius belok 11,55 m, dengan sudut belok 20° didapatkan radius belok yaitu 7,25 m, dan sudut belok 30° didapatkan radius belok 4,3 m.

Data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar sudut belok maka nilai radius belok semakin kecil serta semakin tinggi kecepatan belok semakin besar radius belok kendaraan. Hal ini sesuai dengan rumus $R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f + \alpha r - \alpha_f}$ dimana semakin besar sudut belok yang terjadi maka radius belok semakin kecil. Apabila radius belok yang dihasilkan semakin kecil, maka gaya sentrifugal yang terjadi yang terjadi pada kendaraan akan semakin besar sehingga besarnya gaya longitudinal (F_x), lateral (F_y) dan vertikal (F_z) yang terjadi pada kendaraan bertambah besar.

Tabel 1 Hubungan sudut belok dengan sudut belok pada berbagai sudut putar steer

Variasi Sudut Belok (°)	Sudut Belok (°)		Sudut Putar Steer (°)	Rasio Kemudi
	Dalam	Luar		
15			288	18:1
20	16	14	378	18:1
	21	18		
24	25	21	450	18:1

Berdasarkan Tabel 1, pada sudut belok yang berbeda didapatkan rasio kemudi yang sama yaitu 18:1. Rasio tersebut menggambarkan bahwa roda depan pada sisi dalam akan berbelok 1° saat roda kemudi berputar 18°, sehingga rasio kemudi mobil listrik ini masih dinyatakan aman dan mengikuti standar rasio kemudi mobil pada umumnya. Hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [10] bahwa rasio kemudi pada mobil antara 12:1 hingga 20:1, hal sama juga disampaikan oleh [11] bahwa rasio kemudi pada mobil bervariasi antara 12:1 hingga 20:1 dan 35:1 untuk kendaraan berat. Lebih tinggi rasio kemudi berarti setir diputar lebih banyak untuk membuat roda berputar, tetapi akan lebih mudah untuk membelokkan setir. Rasio kemudi yang lebih rendah berarti setir diputar lebih sedikit untuk membuat roda berbelok, tetapi akan lebih sulit untuk memutar stir.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis, pengujian dan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa, semakin tinggi kecepatan maka semakin besar radius beloknya dan semakin besar sudut belok maka radius belok semakin kecil. Pada kecepatan 30 km/jam dengan sudut belok 24° menghasilkan radius belok paling kecil yaitu, pada metode analisis 5,5 m dan metode eksperimen yaitu 5,75 m dan menghasilkan selisih persentase radius belok paling kecil yaitu, radius belok hasil analisis 4% lebih kecil dari radius belok hasil eksperimen. Pada kecepatan 50 km/jam dengan sudut belok 15°, menghasilkan radius belok paling besar yaitu, pada metode analisis 9,5 m dan metode eksperimen yaitu 9,0 m dan menghasilkan selisih persentase radius belok paling besar yaitu, radius belok hasil analisis 13% lebih kecil dari radius belok hasil eksperimen. Pada sudut belok 15°, 20°, dan 24° menghasilkan sudut putar yaitu 288°, 378°, dan 450° sehingga rasio sudut putar kemudi terhadap sudut belok mobil listrik yang didapatkan adalah 18:1

Ucapan Terima kasih

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga tulisan ini dapat terselesaikan. Penulis juga mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

Daftar Notasi

h	Tinggi titik berat kendaraan tanpa penumpang terhadap tanah	m
h_{gf}	Jarak pusat guling kendaraan bagian depan dengan permukaan jalan	m
h_{gr}	Jarak pusat guling kendaraan bagian belakang dengan permukaan jalan	m
hp	Jarak titik berat penumpang dengan sumbu roda	m
hr	Tinggi titik berat kendaraan tanpa penumpang terhadap sumbu roda	m
hr'	Tinggi titik berat setelah penambahan berat penumpang terhadap sumbu roda	m
K_s	Kekakuan pegas suspensi	N
K_{teq}	Kekakuan ban ekuivalen setelah dilakukan pergeseran titik kerja gaya	N
L	<i>Wheelbase</i>	mm
L_f	Jarak roda depan ke <i>Center of Gravity</i> kendaraan	mm
L_r	Jarak roda belakang ke <i>Center of Gravity</i> kendaraan	mm
m	Massa Total	Kg
M_B	Massa Baterai	Kg
M_{gf}	Momen guling yang terjadi pada roda depan kendaraan	N.m
M_{gr}	Momen guling yang terjadi pada roda belakang kendaraan	N.m
M_K	Massa Kendaraan	Kg
M_M	Massa Pengendara	Kg
M_P	Massa Penggerak	Kg
R_{ack}	Radius Belok <i>Ackerman</i> (Ideal)	m
R_n	Radis Belok	m
v	Kecepatan Kendaraan	m/s
W_f	Berat Kendaraan Bagian Depan	N
W_p	Berat Penumpang	N
W_r	Berat Kendaraan Bagian Belakang	N
W_t	Berat Total	N
X_B	Pusat Gravitasi Baterai Pada Roda Depan	mm
X_K	Pusat Gravitasi Kendaraan Pada Roda Depan	mm
X_M	Pusat Gravitasi Pengendara Pada Roda Depan	mm
X_P	Pusat Gravitasi Penggerak Pada Roda Depan	mm
Z_K	Pusat Gravitasi Kendaraan Pada Roda Belakang	mm
Z_P	Pusat Gravitasi Pengemudi Pada Roda Belakang	mm
Z_M	Pusat Gravitasi Mesin Pada Roda Belakang	mm
δf	Sudut Belok Roda Depan	0
δi	Sudut Belok Roda Dalam	0
δo	Sudut Belok Roda Luar	0
θ	Sudut kemiringan yang diberikan pada kendaraan	0
β	Sudut <i>Side Slip</i> Kendaraan	0

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, *Statistik Transportasi Darat*, BPS RI, Jakarta, 2017.
- [2] Direktorat Jendral Pengendalian Perubahan Iklim Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Perubahan Iklim, Perjanjian Paris dan Nationally Determined Contribution*, Jakarta, 2016.

- [3] F. Zainuri, A. Apriana, D.D. Haryadi, Optimalisasi rancang bangun mobil listrik sebuah studi kendaraan hemat energi sebagai bagian solusi alternatif krisis energi dunia, *Jurnal Politeknologi*, 14 (3) (2015) 1-8.
- [4] A. Efendi, Rancang bangun mobil listrik Sula Politeknik Negeri Subang, *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 17 (1) (2020) 75-84.
- [5] A. Guizani, M. Hammadi, J.Y. Choley, T. Soriano, M.S. Abbes, M. Haddar, Electric vachile design, modelling and optimization, *Jurnal Mechanics & Industry*, 17 (1) (2016) 1-10.
- [6] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), *Outlook Energi Indonesia Energi Outlook*, Jakarta, 2018.
- [7] Badan Pusat Statistik, *Statistik Transportasi Darat*, BPS RI, Jakarta, 2012.
- [8] Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, *Laporan investigasi KNKT jalan raya*, 2014, Available online: [www. http://knkt.dephub.go.id/:knkt.dephub.go.id/webknkt/investigasi_report.php?id=15](http://knkt.dephub.go.id/:knkt.dephub.go.id/webknkt/investigasi_report.php?id=15).
- [9] B. Setyono, Y. Setyawan, Rancang bangun sistem transmisi, kemudi, dan pengereman mobil listrik “Semut Abang”, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia, 2015.
- [10] M. Karade, A. Nagre, D. Choudhary, Y. Sahu, Four wheel steering system, *International Journal of Research in Engineering and Scince (IJRES)*, 10 (2) (2022) 1-5.
- [11] C. Singh, R. Gupta, H. Jindal, R.K. Dang, Prototype of four wheel steering system, *International Journal of Scientific Research (IJSR)*, 10 (4) (2015) 60-65.