

Uji Eksperimental Sudut Belok pada Performa Kendaraan Mobil Listrik Kompetisi 2kw di Lintasan Slalom

Moh Adi Firmansyah¹, Asroful Abidin^{1*}, Kosjoko¹, Nurhalim¹, Muhammad Zainur Ridlo¹

¹ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

*Email: asrofulabidin@unmuhjember.ac.id

Revisi 3 bulan tahun; Diterima 12 November; publikasi Online 30 Desember 2025

Abstrak: Polusi udara di Indonesia semakin meningkat dikarenakan banyaknya kendaraan yang berbahan bakar fosil. Teknologi yang ramah lingkungan seperti kendaraan mobil listrik merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil. Penelitian ini menggunakan metode analisis dan eksperimental untuk mencari sudut belok terbaik pada lintasan slalom. Dalam proses ini analisa sudut belok kendaraan dilakukan dengan variasi sudut belok 11°, 15°, 19° dan 23°, dengan kecepatan 20 km/jam, pada lintasan slalom dengan panjang lintasan 30 meter, dengan menggunakan lintasan aspal kering dan basah. Berdasarkan hasil perhitungan dan eksperimental, sudut belok 11° mendapatkan performan terbaik dengan radius tikungan 12,86 m, kecepatan maksimum stabil pada jalan aspal kering 7,94 m/s dan jalan aspal basah 6,15 m/s, dengan waktu tempuh 5,40 s pada jalan aspal kering dan jalan aspal basah. dan eksperimental mendapatkan waktu tempuh 5,45 s pada jalan aspal kering, dan jalan aspal basah 5,46 s. Sudut belok optimal dengan performa terbaik didapat dengan sudut belok 11°, pada sudut ini kendaraan mampu mempertahankan kecepatan 20 km/jam (5,56 m/s) tanpa kehilangan kestabilan, sehingga waktu tempuh mencapai 5,40 detik, dan eksperimental 5,45 detik, dan jalan basah menghasilkan waktu tempuh 5,40 detik, dan eksperimental 5,46 detik.

Kata kunci: Eksperimental, Lintasan Slalom, Mobil Listrik, Performa, Sudut Belok

1. Pendahuluan

Teknologi kendaraan listrik berkembang secara pesat dan semakin meningkat seiring dengan sadarnya masyarakat akan pentingnya mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Bertambahnya kendaraan di Indonesia setiap tahunnya menjadi faktor utama terjadinya polusi udara yang dihasilkan dari sistem pembakaran dalam mesin yang digunakan pada kendaraan berbahan bakar fosil. Maka dari itu diperlukan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan mudah digunakan oleh masyarakat dibandingkan dengan penggunaan energi fosil, contohnya seperti mobil listrik. Mobil listrik menjadi salah satu kendaraan non-emisi yang bertujuan untuk meredam jumlah polusi udara [1]–[5].

Mobil listrik semakin diminati seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya kendaraan ramah lingkungan dan hemat energi [6][7]. Mobil listrik juga digunakan dalam ajang kompetisi seperti kategori slalom. Kompetisi slalom menguji kemampuan kendaraan dalam bermanuver dengan cepat dan stabil melalui serangkaian tikungan tajam. Faktor utama yang menentukan performa kendaraan pada lintasan slalom ini adalah pengaturan sudut kemudi, traksi ban, dan kondisi jalan [8]–[10]. Berbagai kondisi jalan, seperti jalan kering atau basah, berdampak signifikan terhadap dinamika kendaraan [11]. Pada jalan kering, gaya gesek antara ban dengan jalan lebih besar sehingga pengendalian kendaraan lebih stabil. Namun, pada jalan basah, lapisan air secara signifikan mengurangi gaya gesekan, sehingga mengurangi kontak langsung antara ban dan jalan, yang dapat menyebabkan selip dan berkurangnya traksi [12]–[14].

Kendaraan mobil listrik terdapat sistem mekanik, salah satunya adalah sistem kemudi yang berfungsi sebagai kontrol roda depan untuk berbelok sesuai atas keinginan pengemudi, dan sistem mekanik kendaraan mobil listrik adalah sistem kendaraan yang sangat penting sebagai faktor utama dalam keselamatan berkendara [15][16]. Sistem kemudi *rack and pinion* adalah sistem yang paling sering digunakan, keseluruhan komponen sistem kemudi terdiri dari *steering gear*, *steering column*, dan *steering linkage*. Umumnya sistem kemudi kendaraan didukung oleh mekanisme *power steering* untuk keamanan dan stabilitas. *Hydraulic power steering* dan *electrical power steering* adalah mekanisme *power steering* yang

sering digunakan[17][18]. Pada kendaraan listrik sistem kemudi memegang peranan yang sangat penting untuk membelokkan kendaraan dan mengatur arah kendaraan (lurus atau belok)[13].

Dalam konteks kompetisi otomotif, seperti lomba kendaraan listrik, performa kendaraan menjadi aspek krusial yang menentukan keberhasilan peserta, salah satu parameter penting yang memengaruhi performa kendaraan adalah kemampuan manuver, terutama di lintasan dengan tingkat kesulitan tinggi seperti slalom. Lintasan slalom menguji kelincahan dan stabilitas kendaraan melalui serangkaian tikungan tajam dalam waktu yang singkat. Parameter utama yang memengaruhi performa di lintasan ini adalah sudut belok roda depan. Sudut belok yang optimal memungkinkan kendaraan untuk bermanuver dengan presisi tinggi tanpa kehilangan stabilitas, sehingga memberikan keunggulan kompetitif dalam perlombaan. Namun, studi tentang pengaruh sudut belok terhadap performa kendaraan listrik di lintasan slalom masih terbatas, khususnya dalam skala kendaraan kompetisi [19].

Tujuan penelitian ini ialah untuk mencari sudut belok optimal pada performa kendaraan kompetisi 2KW, pada lintasan slalom dengan jalan aspal kering dan jalan aspal basah, dengan panjang lintasan 30 meter.

2. Metode

Proses penelitian ini menggunakan metode analisis dan eksperimental untuk mencari sudut belok terbaik pada lintasan slalom dengan jalan aspal kering dan basah. Dalam proses ini analisa sudut belok kendaraan dilakukan dengan variasi sudut belok 11° , 15° , 19° dan 23° dengan kecepatan 20 km/jam, pada lintasan slalom dengan jarak 5 meter dan panjang lintasan 30 meter, dengan menggunakan lintasan aspal kering dan basah, untuk mengetahui berapa sudut belok yang optimal pada lintasan slalom. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengumpulan data dan studi literatur, seperti data dari jurnal, internet dan buku-buku penunjang lainnya yang relevan dengan penelitian. Selanjutnya data tersebut dijadikan referensi dan sekaligus mengaplikasikan teori-teori yang sudah didapatkan. Langkah-langkah selanjutnya melakukan perhitungan rumus radius tikungan (r) berdasarkan sudut belok roda depan, kemudian melakukan perhitungan kecepatan maksimum stabil (V_{max}) kendaraan pada saat tikungan, dan melakukan perhitungan waktu tempuh (t) berdasarkan panjang lintasan dan kecepatan rata-rata kendaraan (V_{max}). Selanjutnya melakukan uji eksperimental dengan 3 kali pengujian secara langsung untuk memvalidasi hasil perhitungan.

Persamaan pada pengujian ini untuk menghitung radius tikungan, kecepatan maksimum stabil, dan waktu tempuh menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Radius Tikungan

$$r = \frac{L}{2 \cdot \tan(\delta)} \quad (1)$$

Keterangan:

r = radius tikungan (m).

L = jarak antar slalom (m).

δ = sudut belok roda depan ($^\circ$).

$\tan(\delta)$ = fungsi trigonometri dari sudut belok roda.

2. Kecepatan Maksimum Stabil

$$V_{max} = \sqrt{\mu \cdot r \cdot g} \quad (2)$$

Keterangan:

V_{max} = kecepatan maksimum stabil (m/s).

μ = koefisien gesekan antara ban dan jalan (tanpa satuan).

- μ_k = 0.5 untuk jalan kering.

- μ_b = 0.3 untuk jalan basah.

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2).

R = radius tikungan (m).

3. Waktu Tempuh

$$t = \frac{L_t}{(V + V_{max})} \quad (3)$$

Keterangan:

t = waktu tempuh kendaraan (s).

L_t = panjang lintasan (m).

V = kecepatan awal kendaraan (m/s).

V_{max} = kecepatan maksimum stabil kendaraan pada lintasan slalom (m/s)

3. Hasil dan Diskusi

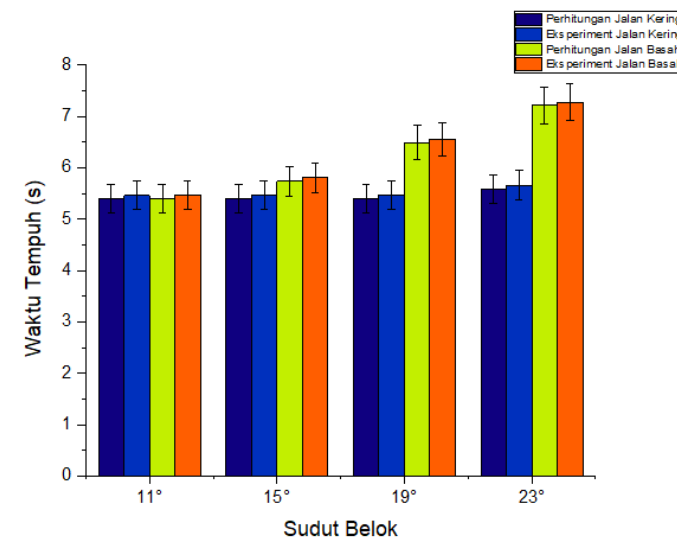
Hasil analisis dan perhitungan terkait performa kendaraan pada lintasan slalom dengan mempertimbangkan variasi sudut belok roda, radius tikungan, kecepatan maksimum stabil, serta waktu tempuh dalam berbagai kondisi jalan. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan kestabilan dan waktu tempuh tercepat kendaraan melintasi lintasan slalom. Dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan

Sudut Belok	Radius Tikungan	Kecepatan maksimum stabil		waktu tempuh	
		Jalan Aspal Kering	Jalan Aspal Basah	Jalan Aspal Kering	Jalan Aspal Basah
11°	12.86 m	7.94 m/s	6.15 m/s	5.40 s	5.40 s
15°	9.33 m	6.76 m/s	5.24 m/s	5.40 s	5.73 s
19°	7.26 m	5.97 m/s	4.62 m/s	5.40 s	6.49 s
23°	5.89 m	5.37 m/s	4.16 m/s	5.58 s	7.21 s

Pada Tabel 1. Dapat dilihat hasil dari perhitungan radius tikungan, kecepatan maksimum stabil, serta waktu tempuh dengan variasi sudut belok, performa terbaik didapat pada sudut belok 11° dengan radius tikungan 12,86 m, kecepatan maksimum stabil pada jalan aspal kering 7,94 m/s dan jalan aspal basah 6,15 m/s, dengan waktu tempuh 5,40 s pada jalan aspal kering dan jalan aspal basah, sebagaimana juga dilaporkan oleh [20] bahwa kecepatan kendaraan tidak berbeda signifikan antara permukaan basah dan kering.

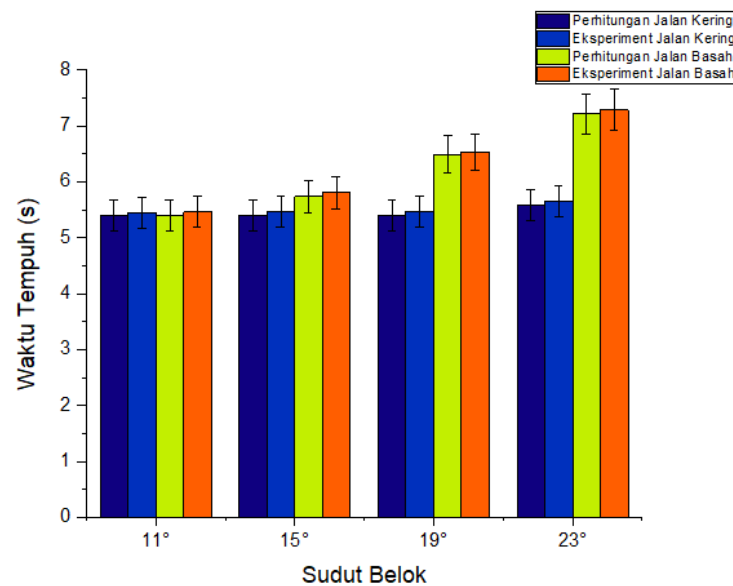
Selain perhitungan teoretis, perlu dilakukan uji coba nyata dengan 3 kali percobaan di lintasan slalom dengan menggunakan kendaraan kompetisi 2kw untuk memvalidasi hasil perhitungan dengan variasi sudut belok 11°, 15°, 19°, dan 23° pada lintasan slalom dengan jalan aspal kering dan basah. Dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 1. Hasil Pengujian Pertama

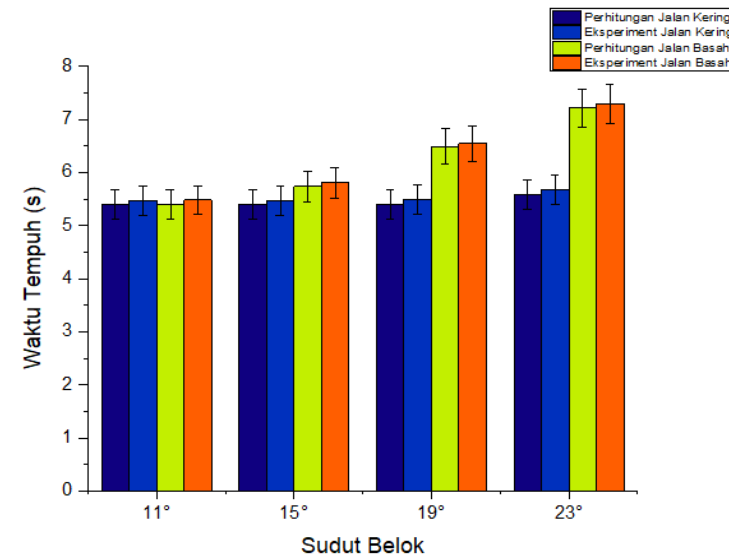
Gambar 1. Dapat dilihat grafik perbandingan dari hasil perhitungan dan eksperimen dengan variasi sudut belok mendapatkan hasil waktu tempuh yang berbeda pada jalan aspal kering dan jalan aspal basah. Untuk sudut belok 11° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,46 s dengan selisih 0,6 s, dan jalan basah mendapatkan waktu

tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,47 s dengan selisih 0,7 s. Pada sudut belok 15° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,47 s dengan selisih 0,7 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,73 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,81 s dengan selisih 0,8 s. Pada sudut belok 19° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,47 s dengan selisih 0,7 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 6,49 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 6,55 s dengan selisih 0,6 s. Pada sudut belok 23° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,58 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,66 s dengan selisih 0,8 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 7,21 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 7,27 s dengan selisih 0,6 s. pada gambar 1. dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian eksperimen sangat dekat dengan hasil perhitungan teoritis, menunjukkan bahwa hasil pengujian sesuai dengan deviasi kecil mendekati hasil dari perhitungan teoritis. Temuan ini sejalan dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa hasil eksperimen memiliki kesesuaian kualitatif dengan hasil perhitungan [21].



Gambar 2. Hasil Pengujian Kedua

Gambar 2. menunjukkan grafik perbandingan dari hasil perhitungan dan eksperimen dengan variasi sudut belok mendapatkan hasil waktu tempuh yang berbeda pada jalan aspal kering dan jalan aspal basah. Untuk sudut belok 11° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,45 s dengan selisih 0,5 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,46 s dengan selisih 0,6 s. Pada sudut belok 15° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,46 s dengan selisih 0,6 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,73 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,80 s dengan selisih 0,7 s. Pada sudut belok 19° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,47 s dengan selisih 0,7 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 6,49 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 6,53 s dengan selisih 0,4 s. Pada sudut belok 23° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,58 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,65 s dengan selisih 0,7 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 7,21 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 7,28 s dengan selisih 0,7 s. pada gambar 2. dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian eksperimen sangat dekat dengan hasil perhitungan teoritis, menunjukkan bahwa hasil pengujian sesuai dengan deviasi kecil mendekati hasil dari perhitungan teoritis.



Gambar 3. Hasil Pengujian Ketiga

Gambar 3. Dapat dilihat grafik perbandingan dari hasil perhitungan dan eksperimen dengan variasi sudut belok mendapatkan hasil waktu tempuh yang berbeda pada jalan aspal kering dan jalan aspal basah. Untuk sudut belok 11° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,47 s dengan selisih 0,7 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,48 s dengan selisih 0,8 s. Pada sudut belok 15° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,46 s dengan selisih 0,6 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,73 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,80 s dengan selisih 0,7 s. Pada sudut belok 19° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,40 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,49 s dengan selisih 0,9 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 6,49 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 6,54 s dengan selisih 0,5 s. Pada sudut belok 23° pada jalan kering mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 5,58 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 5,67 s dengan selisih 0,9 s, dan jalan basah mendapatkan waktu tempuh hasil perhitungan sebesar 7,21 s dan eksperimen mendapatkan hasil sebesar 7,29 s dengan selisih 0,8 s. pada gambar 3. dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian eksperimen sangat dekat dengan hasil perhitungan teoritis, menunjukkan bahwa hasil pengujian sesuai dengan deviasi kecil mendekati hasil dari perhitungan teoritis.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan ekperimental secara langsung terhadap performa kendaraan kompetisi 2KW dengan variasi sudut belok roda pada kondisi jalan aspal kering dan basah, dapat disimpulkan bahwa Semakin besar sudut belok roda dari 11° hingga 23° , maka semakin kecil radius tikungan yang terbentuk. Hal ini menyebabkan kendaraan harus berbelok lebih tajam dalam jarak antar slalom yang tetap. Sudut belok optimal untuk menghasilkan performa terbaik ditentukan dari kombinasi antara kestabilan dan waktu tempuh tercepat. Pada kondisi jalan kering, sudut belok optimal berada pada kisaran 11° hingga 15° , karena pada sudut ini kendaraan mampu mempertahankan kecepatan 20 km/jam (5,56 m/s) tanpa kehilangan kestabilan, sehingga waktu tempuh mencapai 5,40 detik, dan ekpserimental 5,45 detik, sedangkan pada kondisi jalan basah, sudut belok optimal adalah 11° , di mana kendaraan masih dapat mempertahankan kecepatan awal dan menghasilkan waktu tempuh tercepat 5,40 detik, dan ekperimental 5,46 detik.

Daftar Pustaka

- [1] R. F. Asyrof, I. Rizianiza, and F. Manta, "Analisis Pengaruh Sudut Steer Terhadap Kecepatan Berbelok Pada Mobil Listrik," *SPECTA J. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 122–129, 2022, doi:

- 10.35718/specta.v6i2.351.
- [2] M. Aziz, Y. Marcellino, I. A. Rizki, S. A. Ikhwanuddin, and J. W. Simatupang, "STAziz, M., Marcellino, Y., Agnita Rizki, I., Anwar Ikhwanuddin, S., & Welman Simatupang, J. (n.d.). Studi Analisis Perkembangan Teknologi Dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik (Vol. 22). Udi Analisis Perkembangan Teknologi Dan Dukungan" *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 45, 2020.
 - [3] Widya cahyadi, "Optimasi Racing Line pada ECU (*Electronic Control Unit*) Mobil Listrik Berbasis *Fuzzy Logic Control*," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 454, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i2.454.
 - [4] Y. Irawan, A. Z. Arfianto, and D. P. Riananda, "Pemodelan dan Analisis Empiris Sudut Belok *Rudder* Pada Sistem Autopilot Kapal Berbasis Stm32," vol. 9, no. 1, pp. 37–44, 2024.
 - [5] N. A. Sutisna *et al.*, "Simulasi FEM Desain Sasis Mobil Listrik dengan Teknologi Torsional Bar," vol. 3, no. 2, pp. 97–117, 2018.
 - [6] N. Azizah, G. A. Khoirunnisa, N. Nuzulia, R. S. Muhammad, and M. Su'udi, "Review: Mekanisme Miko-Heterotrof Tumbuhan Monotropa," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, p. 49, 2020, doi: 10.30595/jrst.v3i2.4142.
 - [7] H. Elganis, H. Mohammad Ridlwan, and D. Janthinus Kristianto, "Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Nilai Koefisien Understeer Sepeda Motor Konversi Listrik," pp. 315–319, 2023.
 - [8] B. Setiyana *et al.*, "Analisis Dinamika Kendaraan Mobil Antawirya Pada Saat Cornering," vol. 12, no. 1, pp. 71–78, 2024.
 - [9] R. Rajamani, *Vehicle Dynamics and Control*. Springer., Edisi Kedua. London: Springer Science & Business Media, 2011, 2012.
 - [10] D. N. Nugraha, V. K. Jovani, E. Purwanto, and A. Yuandari, "Pembuatan Mobil Listrik Untuk Kompetisi Tingkat Nasional" vol. 2, pp. 173–180, 2020.
 - [11] R. Alimin, I. H. Siahaan, and A. Saputra, "Pemodelan Torque Vectoring Sebagai Upaya Untuk Meningkatkan Stabilitas Pengendalian Mobil Listrik," *J. Tek. Mesin*, vol. 18, no. 2, pp. 44–50, 2021, doi: 10.9744/jtm.18.2.44-50.
 - [12] Pacejka, *Tyre and Vehicle Dynamics*, Second Edi. London: Butterworth-Heinemann, 2006, 2006.
 - [13] I. Mara, "Analisis Sudut Belok Dan Kecepatan Terhadap Radius Belok Mobil Listrik *Analysis of Turning Angle and Speed of Electric Vehicle Turning*," pp. 99–106, 2023.
 - [14] Thomas Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Tidak diri. SAE International, 2021, 2021.
 - [15] S. & Kurniawan, "Analisis Sistem Kemudi untuk Perbaikan Rancangan Mobil Listrik Kapuas I Fakultas Teknik UNTAN (1)* Abdul Rahim, (2) Ivan Sujana, (3) Eddy Kurniawan (1)(3)," *Sujana & Kurniawan*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2022.
 - [16] M. dan M. S. Gusti Despi Rahmatullah, "Pengaruh Derajat Putar Kemudi Terhadap Sudut Belok Ban Dan Momen Kemudi," no. 2, p. 3, 2019.
 - [17] D. Ibnu Fajar, *Analisa Sistem Kemudi Mobil Listrik Brajawahana Its Terhadap Konsdisi Ackerman*. 2015.
 - [18] B. Setyono and R. Salam, "Analisis Perilaku Belok Sistem Steering Mobil Hibrid BED-18 Penggerak Udara Bertekanan dan Motor Listrik," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 439–446, 2019.
 - [19] S. S. Buono, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Sebelas, "Analisis *Handling* Kendaraan Roda Tiga *Revolute Joint Frame* Menggunakan *Universal Mechanism* Dengan Uji *Slalom Revolute Joint Frame* Menggunakan Simulasi," 2009.
 - [20] Navin, Liu, and Othman, "How do vehicle performance characteristics differ between dry and wet asphalt surfaces when navigating curves at various angle configurations" pp. 1–7, 2019.
 - [21] A. Bin Zulkifli, M. I. Ishak, and M. Z. Bin Ibrahim, "How accurately do experimental measurements of vehicle travel time correspond to theoretical calculations across different turning angles and road surface conditions," pp. 1–11, 2019.