

Rancang Bangun Sistem Kemudi Mobil Hemat Energi Kategori Urban Konsep Bahan Bakar Etanol

Japri¹, Muhammad Ridha Fauzi¹, Denur¹, Aken Derisman^{2*}, Roni Arya Gunawan³, Defris Hanindya Edwiyana Pradana³, Rahmatsyah Maksam Ramsi⁴, Hanif Nugroho Aji⁴

¹Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhamadiyah Riau, Pekanbaru, Riau

²Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Medan, Medan

³Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Medan, Medan

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau

E-mail: akenderisman@unimed.ac.id*

Abstract

This study aims to design and test an ergonomic, lightweight, and efficient steering system for an ethanol-based energy-efficient car for competition. The steering system was designed based on the Ackermann geometry principle using the SolidWorks application, with theoretical calculations resulting in a turning radius of 5.11 meters, an inner wheel turning angle of 17.7°, and an outer wheel turning angle of 14.7°. Field testing results show an actual turning radius of 5.34 meters (right) and 5.35 meters (left), still below the maximum limit of 6 meters according to regulations. The measured front wheel turning angles reached 18° (inner) and 14.5° (outer), in accordance with the Ackermann principle which ensures turning efficiency. The system proved responsive, light in operation, minimal vibration, and able to withstand dynamic loads optimally. The results of the study indicate that the steering design integrated with the principles of ergonomics and energy efficiency as a whole meets competition standards, offering reliable and comfortable performance. These findings can be a reference in the development of ethanol-based energy-efficient vehicles for future competitive needs.

Keywords: steering system, energy-efficient, ergonomic and efficient car

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem kemudi mobil hemat energi berbasis etanol yang ergonomis, ringan, dan efisien untuk kompetisi. Sistem kemudi dirancang berdasarkan prinsip geometri Ackermann dengan menggunakan aplikasi SolidWorks, perhitungan teoritis radius putar 5,11 meter, sudut belok roda bagian dalam 17,7°, dan roda bagian luar 14,7°. Hasil pengujian lapangan menunjukkan radius putar aktual sebesar 5,34 meter (kanan) dan 5,35 meter (kiri), masih berada di bawah batas maksimal 6 meter sesuai regulasi. Sudut belok roda depan terukur mencapai 18° (dalam) dan 14,5° (luar), sesuai dengan prinsip Ackermann yang menjamin efisiensi belok. Sistem terbukti responsif, ringan dalam pengoperasian, minim getaran, dan mampu menahan beban dinamis secara optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain kemudi yang terintegrasi dengan prinsip ergonomi dan efisiensi energi secara keseluruhan memenuhi standar kompetisi, menawarkan performa yang andal dan nyaman. Temuan ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan kendaraan hemat energi berbasis etanol untuk kebutuhan kompetitif di masa depan.

Kata Kunci: sistem kemudi, mobil hemat energi, ergonomis dan efisien

1. Pendahuluan

Permasalahan perubahan iklim dan krisis energi global mendorong transisi ke transportasi ramah lingkungan. Menurut International Energy Agency (IEA), sektor transportasi menyumbang 24% emisi CO₂ global pada 2023, dengan dominasi kendaraan berbahan bakar fosil [1]. Di Indonesia, pertumbuhan kendaraan bermotor mencapai 5,3% per tahun, meningkatkan konsumsi bahan bakar dan polusi udara di

perkotaan. Pengembangan kendaraan hemat energi menjadi strategi krusial untuk ketahanan energi nasional dan keberlanjutan lingkungan, sejalan dengan upaya pemerintah melalui Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) [2].

KMHE, khususnya kategori Urban Konsep, mendorong inovasi kendaraan harian dengan efisiensi tinggi dan teknologi energi terbarukan. Kategori ini menekankan desain mekanis seperti sistem kemudi yang ringan, presisi, dan

ergonomis untuk memaksimalkan efisiensi total. Transisi energi nasional Indonesia juga melibatkan bioetanol sebagai alternatif ramah lingkungan, dengan peluncuran Pertamina Green 95 (E5) oleh Pertamina pada 2024. Bioetanol menawarkan pembakaran bersih dan sifat terbarukan, meskipun memerlukan adaptasi desain kendaraan karena nilai kalor rendah dan sifat higroskopisnya, yang memengaruhi efisiensi secara keseluruhan [3].

Sistem kemudi merupakan subsistem vital dalam kendaraan Urban Konsep, memengaruhi manuverabilitas, keamanan, dan kenyamanan pengemudi. Desain yang kompleks dan berat dapat menambah hambatan mekanis, sehingga meningkatkan konsumsi energi [4]. Oleh karena itu, rancang bangun sistem kemudi harus memprioritaskan beban minimum, efektivitas gerak, dan kompatibilitas dengan struktur ringan, terutama untuk kendaraan berbahan bakar etanol [5]. Pada mobil listrik Urban Konsep Warok V.1.1, menunjukkan manfaat kemudi ringan dan ergonomis terhadap efisiensi pengendalian [6]. Sementara itu, Cahyo et al. membahas desain mekanis konvensional tanpa integrasi bahan bakar alternatif [7]. Kesenjangan ini terletak pada kurangnya kajian tentang sistem kemudi yang dioptimalkan untuk etanol, yang menjadi fokus penelitian ini untuk mengisi celah tersebut.

Penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem kemudi yang dioptimalkan secara mekanis dan struktural untuk kendaraan hemat energi berbasis etanol, melalui pengujian empiris pada prototipe. Secara teoretis, studi ini memperkaya ilmu teknik otomotif dalam desain kemudi kendaraan ringan. Secara praktis, hasilnya dapat menjadi acuan bagi tim riset dan industri otomotif Indonesia dalam mengembangkan kendaraan generasi baru yang mendukung transisi energi bersih, sesuai kebutuhan mobilitas nasional. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kemudi yang efisien, ringan, dan ergonomis untuk kendaraan hemat energi?
2. Bagaimana proses pembuatan sistem kemudi tersebut agar sesuai dengan rancangan dan mudah difabrikasi?
3. Bagaimana hasil pengujian performa sistem kemudi kendaraan dari segi fungsi belok, kenyamanan, dan ketahanan beban, dengan fokus pada sudut belok roda depan dan radius putar?

1. Sistem Kemudi

Sistem kemudi adalah sub sistem penting dalam kendaraan yang bertugas untuk mengubah arah gerak roda depan (pada kendaraan penggerak depan) atau roda belakang (pada kendaraan

penggerak belakang) sesuai dengan perintah pengemudi. Fungsi utamanya adalah memastikan kendaraan dapat berbelok dengan presisi, responsif, dan aman, tanpa menimbulkan gesekan berlebihan atau hambatan mekanis yang mengurangi efisiensi energi.

Konsep dasar sistem kemudi didasarkan pada prinsip kemudi tipe rack and pinion yang banyak digunakan pada kendaraan ringan modern karena efisiensi tinggi, ukuran kompak, dan respons mudah [8].

Dalam sistem ini, gerakan putar dari roda kemudi (steering wheel) dikonversi menjadi gerak linier melalui gigi pinion yang menggigit rack (batang pemindah). Gerak linier ini kemudian mendorong atau menarik batang penghubung roda (tie rod), sehingga menggerakkan roda penggerak (steering wheel) ke arah tertentu.

Penting untuk diketahui bahwa pada mobil hemat energi, terutama kategori Urban Konsep, sistem kemudi harus dirancang dalam kondisi ringan (lightweight) dan minimal hambatan (low friction) agar tidak menyerap energi berlebih dari sistem penggerak, yang sangat krusial untuk mempertahankan efisiensi konsumsi bahan bakar, khususnya ketika menggunakan bahan bakar alternatif seperti bioetanol dengan nilai kalor lebih rendah [9].

2. Perhitungan Teoritis Sistem Kemudi

Desain sistem kemudi tidak hanya mencakup mekanisme penggerak, tetapi juga geometri roda yang memengaruhi stabilitas, traksi, dan keandalan kendaraan selama perjalanan. Beberapa parameter geometri penting meliputi:

a) Geometri Ackerman

Geometri Ackermann merupakan prinsip dasar dalam desain sistem kemudi yang memastikan bahwa roda-roda depan kendaraan berbelok dengan sudut yang sesuai, sehingga mengurangi selip ban saat menikung. Dalam konfigurasi ini, roda dalam memiliki sudut belok yang lebih besar dibandingkan roda luar, memungkinkan semua roda berputar mengelilingi titik pusat yang sama.

Rumus perhitungan sudut belok roda dalam dan luar [10];

$$\tan(\theta_{in}) = \frac{L}{R - \frac{t}{2}}$$

$$\tan(\theta_{out}) = \frac{L}{R + \frac{t}{2}}$$

$$\delta_f = \frac{\theta_{in} + \theta_{out}}{2}$$

Keterangan:

θ_{in} : Sudut belok roda dalam (radian)

θ_{out} : Sudut belok roda luar (radian)

- L : Jarak sumbu roda depan dan belakang (wheelbase) (m)
- R : Radius putar kendaraan (m)
- t : Lebar jarak roda depan (track width) (m)
- δf : Rata-rata sudut steer (radian)

b) Radius Putar Kendaraan

Radius putar merupakan parameter penting dalam menentukan kemampuan manuver kendaraan, terutama pada ruang sempit. Radius ini dipengaruhi oleh geometri kemudi dan dimensi kendaraan, yang mana dalam panduan regulasi KMHE radius putar untuk kategori urban yaitu kurang dari 6 Meter. Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan radius putar ada dibawah ini[11];

$$Ri = \frac{L}{\delta f}$$

Keterangan:

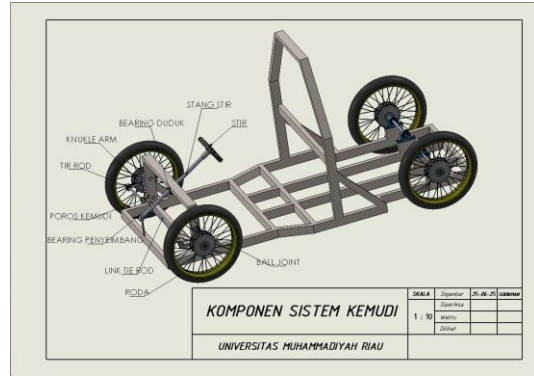
- Ri : Radius putar kendaraan (m)
- L : Jarak sumbu roda depan dan belakang (wheelbase) (m)
- δf : Rata rata sudut steer (radian)

2. Metodologi

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian terapan (*applied research*), yaitu penelitian yang bertujuan untuk mengaplikasikan pengetahuan ilmiah guna memecahkan masalah praktis secara langsung di lapangan. Dalam konteks ini, penelitian difokuskan pada perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem kemudi untuk kendaraan hemat energi kategori Urban Konsep yang menggunakan bahan bakar etanol sebagai sumber energinya.

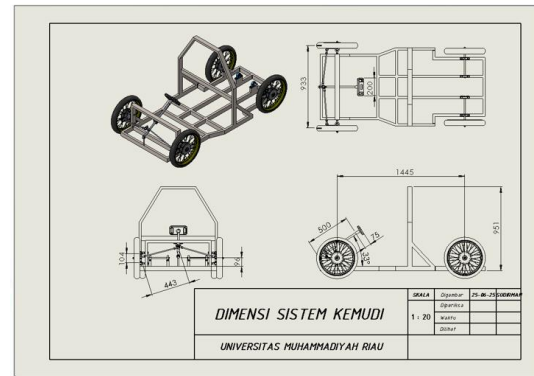
Dalam pelaksanaannya, penelitian ini melibatkan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem kemudi, yang mencakup pemilihan jenis mekanisme kemudi, perhitungan teknis, dan pemodelan desain menggunakan perangkat lunak teknik (misalnya CAD).
2. Pembuatan prototipe sistem kemudi, dengan memperhatikan hasil rancangan dan pemilihan material yang sesuai agar memenuhi kriteria ringan, kuat, dan efisien.



Gambar 1. Komponen sistem kemudi

3. Pengujian sistem kemudi, yang dilakukan untuk mengevaluasi performa mekanisme kemudi dalam kondisi statis dan dinamis, termasuk pengukuran sudut belok, radius putar, kestabilan, dan kenyamanan pengemudi saat manuver.



Gambar 2. Rancangan sistem kemudi

Pada gambar ini ditampilkan representasi teknik dari sistem kemudi dalam bentuk proyeksi ortogonal lengkap dengan informasi dimensi. Jarak antar roda depan (track width) sebesar 933 mm, panjang keseluruhan sasis 1445 mm, dan sudut kemiringan kemudi 33° terhadap sumbu horizontal. Sudut ini dipilih berdasarkan perhitungan kenyamanan ergonomi serta untuk mengoptimalkan sudut belok minimum kendaraan.

Tabel 1.

Alat yang digunakan dalam pembuatan sistem kemudi

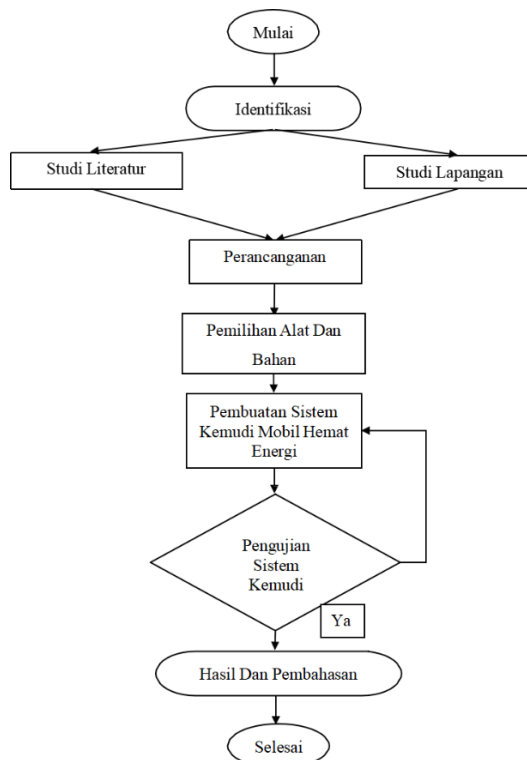
No	Nama Alat	Spesifikasi
1	Komputer dengan CAD (Inventor/SolidWorks)	Prosesor Intel i7/AMD Ryzen 7 ke atas, RAM ≥ 16 GB, GPU NVIDIA/AMD
2	Mesin las listrik (SMAW)	setara GTX 1660 ke atas, software CAD
3	Mesin bor tangan dan bor duduk	SolidWorks versi 2022
4	Gerinda potong dan alat potong logam	Daya 900–1500 watt, arus output 20–

5	Vernier caliper dan mistar ukur	200 A
6	Protractor digital	Kecepatan variabel 0–3000 rpm, mata bor HSS ukuran 3–12 mm, daya bor
7	Timbangan digital	tangan 500–800 W
8	Stopwatch dan alat ukur radius putar	Daya 850–1200 W, kecepatan putar
9	Jangka sorong digital	10.000–12.000 rpm, ukuran mata gerinda 4”–7”

Tabel 2.
Bahan yang digunakan dalam pembuatan sistem kemudi

No	Nama Bahan	Spesifikasi
1	Pipa besi hollow/seamless	Diameter luar 19 mm, tebal 2 mm, panjang 500–700 mm,
2	Baja strip	Ukuran 25 mm x 5 mm,
3	Roda kemudi aftermarket	Diameter 280–320 mm,
4	Rack and pinion	Panjang rack ± 400 mm,
5	Baut, mur, dan pengikat	Ukuran M12–M14
6	Pelumas mekanik	Jenis grease lithium-based, suhu kerja –20°C sampai 120 ° C, tahan air dan beban tinggi
7	Cat pelindung dan dempul	Cat dasar epoxy primer

Penelitian ini mengikuti alur perencanaan yang sistematis, dimulai dari studi literatur hingga analisis hasil pengujian.



Gambar 3. Alur Penelitian

Setelah sistem kemudi dirakit dan dipasang pada kendaraan Urban Konsep, dilakukan uji coba di lintasan untuk memperoleh data aktual.

Pengujian dilakukan dengan metode sebagai berikut:

- Radius putar diukur saat kendaraan dibelokkan secara maksimum dalam satu arah.
- Sudut belok roda diukur menggunakan protractor digital yang ditempel pada roda depan.
- Setiap pengukuran dilakukan minimal tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata dan mengurangi kemungkinan kesalahan data.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Proses Pembuatan Sistem kemudi

Proses pembuatan dan perakitan sistem kemudi dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk memastikan bahwa hasil rancangan yang telah dirumuskan dalam tahap desain dapat direalisasikan secara optimal pada kendaraan prototipe Urban Konsep berbahan bakar etanol. Tahapan ini mencakup kegiatan fabrikasi komponen, perakitan sistem kemudi, dan penyempurnaan mekanis sesuai standar kinerja dan ergonomi pengemudi.

- 1) Persiapan Bahan dan Peralatan

Langkah awal dimulai dengan menyiapkan seluruh bahan dan peralatan yang telah ditentukan sebelumnya pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Bahan seperti pipa baja hollow, baja strip, tie rod, ball joint, dan komponen rack and pinion diperiksa dari segi dimensi, ketebalan, dan kelurusan untuk memastikan kesesuaian dengan rancangan desain CAD. Peralatan seperti mesin las, bor, gerinda, dan alat ukur presisi disiapkan dan dikalibrasi agar proses pemotongan dan penyambungan dapat dilakukan dengan akurasi tinggi.

2) Pemotongan dan Pembentukan Komponen

Komponen-komponen sistem kemudi seperti poros kemudi, dudukan bearing, dan batang penghubung (tie rod) dipotong sesuai dimensi yang telah ditentukan dalam desain teknis. Pemotongan dilakukan menggunakan gerinda potong dan mesin bor dengan kecepatan putar yang disesuaikan agar tidak merusak struktur material. Setelah pemotongan, komponen dibersihkan dari gerinda logam dan diratakan menggunakan amplas atau mesin gerinda halus.

3) Proses Pengelasan dan Penyambungan

Setelah seluruh komponen selesai dibentuk, proses pengelasan dilakukan untuk menyambungkan bagian-bagian seperti dudukan poros kemudi pada rangka, bracket tie rod, dan pengikat rack ke sasis utama. Teknik las listrik SMAW digunakan dengan arus disesuaikan berdasarkan ketebalan material untuk menghindari deformasi termal. Pengelasan dilakukan dalam posisi yang telah ditentukan pada gambar teknik guna menjamin posisi geometri kemudi tetap akurat sesuai desain Ackermann.

4) Perakitan Komponen Utama Sistem Kemudi

Komponen-komponen utama seperti roda kemudi, poros kemudi, bearing, rack and pinion, tie rod, dan knuckle arm dirakit secara berurutan. Poros kemudi dipasang pada bearing penyeimbang agar gerak rotasi stabil dan bebas gesekan. Selanjutnya, tie rod disambungkan ke ujung rack dan dihubungkan ke knuckle arm roda depan menggunakan ball joint. Perakitan dilakukan dengan memperhatikan kekencangan baut dan mur sesuai spesifikasi torsi agar tidak terjadi kelonggaran saat pengujian dinamis.



Gambar 4. Sistem kemudi yang terpasang

5) Penyesuaian Sudut dan Geometri Kemudi

Setelah sistem kemudi terpasang pada rangka kendaraan, dilakukan proses penyesuaian sudut kemudi dan panjang tie rod agar sudut belok roda kiri dan kanan sesuai dengan perhitungan geometri Ackermann. Penyesuaian ini dilakukan menggunakan digital protractor dan jangka sorong. Sudut kemudi dikalibrasi agar posisi lurus roda sesuai dengan arah roda kemudi, serta memastikan tidak terjadi steering offset atau toe angle yang menyimpang.



Gambar 5. Penyesuaian sudut roda

6) Pemeriksaan dan Uji Fungsional Awal

Tahap akhir adalah melakukan pemeriksaan keseluruhan sistem, termasuk kelancaran gerak rotasi, tidak adanya keausan dini pada bearing, serta tidak terjadi hambatan atau gesekan yang berlebihan antar komponen. Sistem diuji secara fungsional di workshop dengan menggerakkan roda kemudi secara penuh ke kiri dan ke kanan untuk memastikan roda depan berputar dengan sudut yang simetris dan proporsional. Sistem kemudi juga diuji terhadap beban tangan pengemudi untuk memastikan tidak ada kelebihan gaya putar.



Gambar 6. Pemeriksa dan Uji fungsional

b. Pengujian Sistem Kemudi pada Kendaraan

Setelah proses pembuatan selesai, dilakukan pengukuran ulang terhadap seluruh komponen sistem kemudi untuk memastikan kesesuaian dengan desain awal. Spesifikasi akhir dari prototipe sistem kemudi yang telah jadi

dirangkum dan dibandingkan dengan data perancangan menggunakan Computer-Aided Design (CAD). Perbandingan ini penting untuk mengetahui tingkat presisi dan akurasi dari proses manufaktur yang telah dilakukan.

Tabel 3.

Perbandingan Spesifikasi Desain dan Hasil Fabrikasi			
No	Parameter	Dimensi Desain (CAD)	Dimensi Aktual
1	Panjang Poros Kemudi	500 mm	515 mm
2	Panjang Tie Rod	443 mm	445 mm
3	Track Width	1000 mm	1040 mm
4	Wheelbase	1445 mm	1430 mm
5	Kemiringan Kemudi	33°	29°
6	Material Utama	Baja Hollow & Strip	Sesuai

1) Pengujian Radius Putar Kendaraan

Pengujian radius putar dilakukan untuk mengukur kemampuan manuver kendaraan. Pengukuran dilakukan dengan memutar kemudi secara maksimal ke kiri dan kanan, kemudian mengukur diameter lingkaran jejak roda terluar. Nilai "Radius Aktual" pada tabel di bawah ini merupakan nilai rata-rata dari tiga kali percobaan untuk mendapatkan data yang konsisten.

Tabel 4.

Pengujian Radius Putar kendaraan				
No	Kondisi Uji		Radius Teoritis (m)	Radius Aktual (m)
1	Belok Penuh	Kiri	5,11	5,35
2	Belok Penuh	Kanan	5,11	5,34

Berdasarkan hasil pengujian, nilai deviasi radius putar antara data teoritis dan aktual berada pada kisaran 4,50% hingga 4,70%.

- Belok Kiri Penuh menunjukkan deviasi sebesar 4,70%, yang berarti radius putar aktual sedikit lebih besar dibandingkan nilai teoritis. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh toleransi mekanis pada sistem kemudi, kelonggaran pada sambungan, atau elastisitas komponen suspensi ketika menerima beban belok.
- Belok Kanan Penuh memiliki deviasi sebesar 4,50%, yang sedikit lebih rendah dibanding arah kiri. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh asimetri ringan pada geometri kemudi, kondisi ban, atau setelan toe-in/toe-out kendaraan.

2) Pengujian Sudut Belok Kendaraan

Pengujian sudut belok roda bertujuan memverifikasi implementasi geometri Ackermann. Pengukuran dilakukan menggunakan protractor digital pada roda dalam (inner) dan luar

(outer) saat kemudi diputar penuh. Nilai "Sudut Aktual" pada tabel di bawah merupakan rata-rata dari tiga kali pengukuran untuk setiap kondisi.

Tabel 5.

Pengujian Radius Putar kendaraan				
No	Roda yang Diukur		Sudut Teoritis (°)	Sudut Aktual (°)
1	Roda (Kanan)	Dalam	17,7	18
2	Roda (Kanan)	Luar	14,7	14
3	Roda (Kiri)	Dalam	17,7	18
4	Roda (Kiri)	Luar	14,7	15

Berdasarkan hasil pengukuran sudut kemudi pada roda kanan dan kiri, baik sisi dalam maupun luar, didapatkan deviasi antara sudut aktual dengan sudut teoritis berkisar antara -4,76% hingga 2,04%.

- Roda Dalam (Kanan dan Kiri) menunjukkan deviasi positif sebesar 1,69%, yang berarti sudut kemudi aktual sedikit lebih besar dibandingkan sudut teoritis. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh toleransi mekanis pada sambungan sistem kemudi (steering linkage) atau adanya elastisitas pada komponen seperti tie rod dan steering arm.
- Roda Luar (Kanan) memiliki deviasi negatif sebesar -4,76%, yang menandakan sudut kemudi aktual sedikit lebih kecil dari teoritis. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh penyetelan sudut kemudi yang belum sepenuhnya optimal atau pengaruh sudut Ackermann yang tidak sepenuhnya sesuai dengan perhitungan teoritis.
- Roda Luar (Kiri) menunjukkan deviasi positif sebesar 2,04%, yang masih sejalan dengan tren roda dalam, meskipun nilainya lebih kecil. Hal ini dapat mengindikasikan adanya sedikit ketidaksempurnaan pada kesimetrisan mekanisme kemudi.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem kemudi pada kendaraan Urban Konsep berbahan bakar etanol, maka dapat ditarik kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian sebagai berikut:

- Rancangan sistem kemudi yang ergonomis, ringan, dan efisien telah berhasil dibuat sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Desain ini menggunakan prinsip geometri Ackermann dengan material utama pipa besi hollow dan baja strip yang menghasilkan total bobot sistem hanya 1,5 kg. Aspek ergonomis tercapai melalui penentuan sudut kemudi

- sebesar 29° yang memberikan postur nyaman bagi pengemudi.
- b. Pemilihan sistem kemudi berdasarkan hasil rancangan telah berhasil direalisasikan dengan menggunakan metode produksi manual (fabrikasi). Pemilihan material pipa besi hollow dan baja strip terbukti tepat karena memiliki rasio kekuatan terhadap bobot yang baik, mudah difabrikasi dengan teknik las SMAW, dan ekonomis. Proses ini berhasil mewujudkan desain menjadi prototipe fungsional dengan tingkat akurasi yang tinggi, di mana deviasi dimensi antara desain CAD dan hasil aktual tidak melebihi 5%.
- c. Pengujian performa sistem kemudi menunjukkan bahwa seluruh target fungsional telah terpenuhi dan sesuai regulasi KMHE. Hasil pengujian radius putar aktual kendaraan adalah 5,34 meter, lebih kecil dari batas maksimal 6 meter yang disyaratkan. Sudut belok roda depan (18° untuk roda dalam dan 14,5° untuk roda luar) telah sesuai dengan prinsip geometri Ackermann, yang menjamin fungsi belok yang efisien. Dari segi kenyamanan, sistem kemudi terbukti responsif, ringan dioperasikan, dan memiliki getaran minim, meskipun ditemukan adanya backlash minor sebesar $\pm 4^\circ$.
- [7] Cahyo, S. D., Pramesti, Y. S., & Sugianto, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Kemudi Prototipe Mobil Listrik. *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 7(3), 1166–1172.
- [8] Kurniawan, F. (2023). Desain Sistem Kemudi Kendaraan Rancang Cerdas. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(2), 89–96.
- [9] Rahmandani, Ir Ahmad Kholid, Alghofari, & Vavin Shuhul. (2023). *Usulan Rancang Bangun dan Penerapan Konsep Ergonomi Pada Ruang Kemudi Mobil Listrik Urban UEV-15*.
- [10] As'adurrofiq, Menhendry, & Asmed. (2024). Analisa Sistem Kemudi Mobil Marapi Evo 1 Politeknik Negeri Padang KMHE 2021. *Jurnal PROTEMAN*, 1(1), 30–41.
- [11] Widya, G. (2001). *Teknologi Otomotif*. Penerbit Guna Widya.

Daftar Pustaka

- [1] Agency, I. E. (2024). CO₂ Emissions in 2023, Analysis.IEA.<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>.
- [2] Prasetyo, B. (2021). Performa Kendaraan Berbahan Bakar Alternatif pada Kompetisi Nasional. *Jurnal Energi Indonesia*, 9(3), 112–119.
- [3] Suryanto, A. (2020). Penerapan Etanol sebagai Bahan Bakar Kendaraan Listrik Hybrid. *Teknologi Ramah Lingkungan*, 5(1), 45–52.
- [4] Putra, W. T., & Malyadi, M. (2020). Analisa Uji Performasi Sistem Kemudi, Trnasmisi, dan Sistem Pengereman pada Mobil Listrik Tipe Urban Concept Warok V. 1.1. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 5(1), 27–34.
- [5] Rahmandani, Ir Ahmad Kholid, Alghofari, & Vavin Shuhul. (2023). *Usulan Rancang Bangun dan Penerapan Konsep Ergonomi Pada Ruang Kemudi Mobil Listrik Urban UEV-15*.
- [6] Putra, W. T., & Malyadi, M. (2020). Analisa Uji Performasi Sistem Kemudi, Trnasmisi, dan Sistem Pengereman pada Mobil Listrik Tipe Urban Concept Warok V. 1.1. *REM*