



Pengembangan dan Optimasi Sistem Kemudi Power Steering sebagai Media Pembelajaran Interaktif pada Mata Kuliah Body & Chassis

Antonius Pangalinan¹, Dedy Nataniel Ully^{1,*}, Agustinus Laka¹, Bernadus S. Wuwur¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia

Kata kunci

Trainer
Sistem Kemudi
Chassis
Pembelajaran
Interaktif

ABSTRAK

Dalam pendidikan vokasi teknik otomotif, pembelajaran praktik sangat penting untuk membekali mahasiswa dengan keterampilan industri. Mata kuliah Body & Chassis memerlukan pendekatan praktik intensif, terutama dalam memahami sistem kemudi seperti *power steering* yang merupakan komponen vital pada kendaraan modern. Efektivitas pembelajaran bergantung pada ketersediaan alat peraga yang merepresentasikan sistem kerja nyata. Alat peraga ideal harus interaktif dan mendukung pengamatan, analisis, serta simulasi. Namun, banyak institusi masih kesulitan menyediakan alat peraga yang memenuhi kriteria tersebut. Alat peraga sistem kemudi *power steering* di Program Studi D-III Mesin Otomotif belum optimal. Masalahnya meliputi minimnya visualisasi kerja, terbatasnya interaksi dengan komponen, dan desain yang tidak sesuai kondisi lapangan, sehingga menghambat pemahaman mahasiswa. Urgensi penelitian ini muncul dari keterbatasan fasilitas pembelajaran modern pada mata kuliah Body & Chassis, yang berdampak pada kurang optimalnya pemahaman mahasiswa terhadap sistem kerja komponen kendaraan. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan alat peraga yang lebih relevan, interaktif, dan sesuai kebutuhan industri, sehingga kegiatan pembelajaran praktis dapat berlangsung lebih efektif dan mampu meningkatkan kompetensi mahasiswa secara nyata. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental*) yaitu melakukan pengamatan langsung di lapangan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat diketahui berapa besar tekanan yang dihasilkan ketika setir itu diputar ke kiri atau ke kanan. Selain itu dapat diketahui pula akselerasi ketika sistem kemudi bekerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan fluida dan getaran mekanik yang dihasilkan oleh Mobil Kijang lebih besar jika dibandingkan dengan desain alat peraga yang dibuat.

* *Corresponding author:*

Dedy Nataniel Ully (email: dedy.ully@gmail.com)

Diterima: 8 Desember 2025

Disetujui: 8 Februari 2026

Dipublikasikan: 17 Februari 2026

1 Pendahuluan

Dalam pendidikan vokasi teknik otomotif, pembelajaran praktik sangat penting untuk membekali mahasiswa dengan keterampilan sesuai kebutuhan industri. Mata kuliah Body & Chassis menjadi salah satu materi yang membutuhkan praktik intensif, khususnya pada sistem kemudi seperti *power steering* yang merupakan komponen vital pada kendaraan modern. Namun, efektivitas pembelajaran sangat bergantung pada tersedianya alat peraga yang mampu merepresentasikan sistem kerja sebenarnya. Alat peraga yang ideal tidak hanya memperlihatkan bentuk fisik komponen, tetapi juga memungkinkan mahasiswa untuk mengamati prinsip kerja, menganalisis kerusakan, serta melakukan simulasi perawatan dan perbaikan. Sayangnya, pada kenyataannya, banyak institusi pendidikan mengalami kendala dalam menyediakan alat peraga yang interaktif, representatif, dan mudah dipahami oleh mahasiswa [1].

Pada Program Studi D-III Mesin Otomotif, alat peraga sistem kemudi *power steering* yang ada saat ini masih belum optimal dalam mendukung proses pembelajaran. Beberapa permasalahan yang muncul antara lain: kurangnya fitur visualisasi gerak kerja sistem, keterbatasan interaksi langsung dengan komponen, hingga desain

alat yang tidak sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Hal ini dapat berdampak pada kurang maksimalnya pemahaman mahasiswa terhadap prinsip kerja dan fungsi sistem *power steering*. Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah upaya *optimalisasi alat peraga* yang ada agar mampu mendukung kegiatan pembelajaran secara lebih efektif dan aplikatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengembangkan alat peraga sistem kemudi *power steering* yang dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa dan menunjang pencapaian kompetensi pada mata kuliah *Body & Chassis*. [2].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengembangan dan penerapan sistem kemudi, baik dalam konteks kendaraan nyata maupun sebagai media pembelajaran. Artika dkk. (2017) menitikberatkan pada perancangan sistem kemudi manual dengan fokus pada aspek geometri dan momen putar kemudi, namun belum mengkaji integrasi sistem tersebut sebagai alat peraga pembelajaran interaktif [3]. Varma dkk. (2018) menekankan optimasi geometri kemudi berbasis perangkat lunak untuk meningkatkan sensitivitas dan respons kendaraan, tetapi orientasi penelitian tersebut lebih bersifat desain kendaraan performa tinggi, bukan untuk kebutuhan pendidikan vokasi [4].

Pada ranah pembelajaran, Syamsi dkk. (2019) serta Manzallino dkk (2019). menunjukkan bahwa penggunaan simulator atau trainer *power steering* mampu meningkatkan hasil belajar dan pemahaman siswa [5, 6]. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut lebih menekankan evaluasi efektivitas pembelajaran dan tingkat penerimaan pengguna, tanpa mengaitkannya secara kuantitatif dengan karakteristik teknis sistem, seperti tekanan fluida dan getaran mekanik sebagai representasi kondisi kerja nyata. Penelitian Ikhsan dkk. dan Pradana dkk. telah membahas rancang bangun *power steering* hidrolik beserta karakteristik tekanannya, namun belum membandingkan secara langsung perilaku sistem trainer dengan sistem kendaraan aktual.

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat diidentifikasi celah penelitian bahwa belum banyak studi yang mengaitkan kinerja teknis alat peraga sistem kemudi *power steering*—dalam hal tekanan fluida dan getaran mekanik—dengan sistem kendaraan nyata sebagai acuan, khususnya dalam konteks pembelajaran vokasi. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan evaluasi alat peraga sistem kemudi *power steering* yang tidak hanya berfungsi sebagai media demonstrasi, tetapi juga mampu merepresentasikan karakteristik kerja sistem aktual secara terukur. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada analisis komparatif antara sistem kendaraan dan trainer, sehingga alat peraga yang dikembangkan memiliki relevansi teknis yang lebih kuat terhadap kebutuhan pembelajaran *Body & Chassis*.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ikhsan dkk (2020) yakni tentang Rancang Bangun *Power Steering* Hidrolik Pada Toyota Kijang 5 K. *Power steering* berfungsi sebagai alat untuk membantu memperlambat atau meringankan pengoperasian kemudi, saat mesin dalam keadaan hidup. Khususnya pada hidrolik *Power steering* bekerja dengan memanfaatkan tenaga tekan dari fluida cair, di mana fluida cair tersebut diberi tekanan oleh sebuah pompa. Pada kendaraan utuh komponen-komponen hidrolik *power steering* tidak nampak secara keseluruhan. Beberapa komponen terhalangi atau tertutupi oleh komponen yang lainnya, sehingga untuk mempelajarinya cukup sulit. Berdasarkan acuan di atas, maka kami akan mencoba membuat suatu alat peraga untuk mengatasi keterbatasan alat praktikum sistem hidrolik *power steering*. Kami akan mengangkat analisis rancang bangun alat peraga hidrolik *power steering* di mana *power steering* yang akan digunakan adalah hidrolik *power steering* milik Toyota Kijang. Diharapkan setelah alat ini selesai, dapat menjadi alat pembelajaran bagi mahasiswa yang lebih efektif, khususnya untuk mahasiswa program studi teknik mesin spesialisasi otomotif [7].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Pradana dkk (2021) yakni tentang Rancang Bangun Sistem Kontrol *Power Steering* Pada Trainer Sistem Kemudi Sebagai Media Pembelajaran Praktek Chasis. Metode R&D (*Research and Development*) atau perancangan pengembangan berbasis eksperimen. Dengan tujuan untuk dapat menentukan spesifikasi komponen penggerak utama yang akan digunakan pada rancang bangun sistem kontrol *power steering* hidrolik. Hasil analisa kerja pengujian tekanan menunjukkan bahwa, tekanan yang dihasilkan dari berbagai kecepatan menunjukkan hasil yang berbeda, sehingga berpengaruh terhadap berat yang ada pada sistem kemudi. Untuk *power steering* hidrolik pada kecepatan rendah kemudi akan terasa berat tetapi pada kondisi kecepatan tinggi kemudi akan terasa ringan. Implikasinya tekanan yang ada didalam sistem kemudi berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan. Didapatkan hasil tekanan *power steering* pada saat berbelok ke kanan dengan kecepatan rpm 700 sebesar 20 Psi, rpm 1000 sebesar 30 Psi, rpm 1300 sebesar 40 Psi dan 1700 sebesar 60 Psi. sedangkan pada saat berbelok ke kiri didapatkan hasil pada rpm 700 sebesar 20 Psi, rpm 1000 sebesar 30 Psi, rpm 1300 sebesar 40 Psi dan rpm 1700 sebesar 50 Psi [8].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Zhang dkk (2021) yakni tentang *Design of vehicle steering system testing training in augmented reality environme*. Melalui percobaan dengan lebih dari 100 siswa, telah dianalisis hal itu di bawah interaksi manusia-komputer yang ramah, platform ini tidak hanya dapat mencapai interpretasi proses deteksi kendaraan, tetapi juga memungkinkan pengujian menjadi lebih akrab dan menguasai deteksi proses,

meningkatkan efisiensi deteksi. Dimungkinkan juga untuk mengintegrasikan proses pengujian ke dalam kelas melalui tampilan tiga dimensi, memberikan siswa sebuah novel dan hidup, berpusat pada orang pengalaman mengajar, dan mencapai hasil praktis yang baik. Proyek ini awalnya mengeksplorasi aplikasi simulasi virtual dalam arah cerdas dan kontrol interaktif pengujian kendaraan, menyediakan bantuan bermanfaat untuk pelatihan pengujian kendaraan dan penerapan teknik [9].

2 Metode Penelitian

a. Waktu dan Tempat Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dan berlokasi di Laboratorium Mesin Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang.

b. Rancangan Kegiatan

Rancangan penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan tahapan-tahapan atau proses yang akan ditempuh untuk memecahkan persoalan yang akan diteliti :

- **Observasi**
Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai proses pembelajaran yang sedang berlangsung, khususnya dalam menelusuri berbagai hambatan yang dihadapi mahasiswa Program Studi Mesin Otomotif pada mata kuliah Body dan Chassis. Dari kegiatan ini, persoalan yang berkaitan dengan pemahaman konsep dan pelaksanaan praktik sistem kemudi mobil dapat teridentifikasi dengan lebih mendalam, sehingga menjadi landasan penting dalam penyusunan upaya perbaikan yang mampu meningkatkan mutu pembelajaran.
- **Identifikasi Masalah**
Identifikasi masalah menjadi langkah krusial agar isu yang diangkat dalam penelitian benar-benar relevan dan tepat sasaran. Proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan sejumlah parameter, seperti tingkat ketertarikan topik, manfaat yang dihasilkan, unsur kebaruan, kemudahan pengukuran, kelayakan pelaksanaan, serta kesesuaian dengan prinsip etika penelitian. Dengan demikian, masalah yang ditetapkan dapat memberikan arah penelitian yang jelas dan memiliki nilai kontribusi nyata.
- **Studi Pustaka**
Studi pustaka dilakukan dengan menelusuri berbagai sumber ilmiah yang relevan, seperti buku teks, makalah, dan jurnal penelitian, guna memperoleh dasar teori yang kuat terkait permasalahan dalam penelitian terapan ini. Melalui analisis literatur tersebut, diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif untuk mendukung arah penelitian serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaannya.
- **Perencanaan Alat**
Perencanaan alat peraga sistem kemudi power steering ini dilakukan dengan mempertimbangkan sejumlah aspek kunci, mulai dari temuan hasil observasi, kesiapan sumber daya manusia dalam mengoperasikan dan merawat teknologi yang digunakan, hingga kemudahan memperoleh komponen ketika terjadi kerusakan. Selain itu, ketersediaan pilihan komponen alternatif di Kota Kupang juga menjadi pertimbangan penting agar alat peraga dapat berfungsi secara berkelanjutan dan mudah dipelihara.
- **Pembuatan Alat**
Setelah tahap perencanaan dan desain disusun sesuai kriteria yang ditetapkan, proses berikutnya adalah pembuatan alat peraga. Dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan waktu, rancangan alat peraga sistem kemudi power steering dibuat dalam bentuk yang lebih sederhana dan berukuran lebih kecil agar sesuai untuk kebutuhan praktikum mahasiswa. Proses perakitan dan pembuatan alat ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik serta Laboratorium Mesin Otomotif Politeknik Negeri Kupang.
- **Uji Coba dan Evaluasi Kinerja Alat**
Setelah proses pembuatan selesai, alat peraga kemudian menjalani tahap uji coba dan evaluasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan rancangan awal. Pengujian ini mencakup sejumlah parameter penting, seperti kinerja pompa power steering, besaran tekanan yang dihasilkan pada steering gear, serta tingkat getaran dari sistem mekaniknya. Melalui evaluasi tersebut, dapat

diketahui apakah alat berfungsi optimal dan memenuhi standar yang dibutuhkan untuk kegiatan praktikum.

c. Variabel Penelitian

- Variabel Bebas : Putaran poros yakni 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 dan 2000 rpm.
- Variabel Terikat : Ada dua variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini yakni tekanan yang dihasilkan oleh sistem *power steering* dan getaran mekanik yang terjadi pada sistem kemudi.

Instrumen atau instalasi penelitian tentang rancang bangun alat peraga sistem kemudi untuk mendukung kegiatan pembelajaran pada mata kuliah body & chasis program studi diploma tiga mesin otomotif dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Instalasi Penelitian

Mekanisme yang dirancang untuk membantu pengemudi mengendalikan roda kendaraan dengan lebih mudah, terutama saat memutar roda kemudi. Sistem ini mengurangi tenaga yang dibutuhkan untuk mengarahkan kendaraan, terutama pada kecepatan rendah atau saat parker. Power steering akan bekerja pada beberapa kondisi yakni :

1. Input dari Pengemudi:
Pengemudi memutar roda kemudi, menghasilkan gerakan mekanis melalui steering column ke steering gearbox.
2. Pompa Hidrolik Aktif:
Pompa hidrolik, yang digerakkan oleh mesin, memompa fluida hidrolik dari reservoir ke sistem dengan tekanan tinggi.
3. Katup Kontrol Mengatur Aliran Fluida:
Katup kontrol mendeteksi arah putaran roda kemudi (ke kiri atau ke kanan).
4. Jika roda kemudi diputar ke kiri, katup kontrol mengalirkan fluida ke sisi kiri silinder hidrolik. Jika diputar ke kanan, fluida diarahkan ke sisi kanan silinder.
5. Silinder Hidrolik Membantu Gerakan:
Fluida bertekanan tinggi mendorong piston di dalam silinder hidrolik, yang memberikan gaya tambahan untuk mempermudah pergerakan tie rod dan roda depan.
6. Roda Depan Berbelok:
Tie rod mengarahkan roda depan sesuai input pengemudi, sementara bantuan fluida hidrolik mengurangi tenaga yang diperlukan untuk memutar roda kemudi.
7. Fluida Kembali ke Reservoir:
Setelah memberikan tekanan, fluida hidrolik kembali ke reservoir melalui selang tekanan rendah untuk didaur ulang.

Beberapa persamaan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menganalisis kinerja sistem power steering hidrolik pada kendaraan dan trainer. Persamaan tekanan hidrolik digunakan untuk menafsirkan besarnya tekanan fluida kerja yang terukur pada berbagai variasi putaran poros, sedangkan persamaan debit fluida dan daya hidrolik berperan dalam menjelaskan hubungan antara peningkatan putaran pompa dan respons sistem secara keseluruhan.

Persamaan mekanik sistem kemudi digunakan secara konseptual untuk menjelaskan keterkaitan antara gaya, torsi, dan keuntungan mekanis pada mekanisme rack and pinion, namun tidak seluruh persamaan digunakan secara numerik dalam pengolahan data. Analisis kuantitatif penelitian ini difokuskan pada parameter tekanan fluida dan getaran mekanik yang diperoleh dari pengukuran langsung, sehingga persamaan hidrolik menjadi dasar interpretasi fisis terhadap kecenderungan data hasil pengujian.

Beberapa persamaan yang dipakai untuk menghitung kinerja atau performance alat destilasi air payau seperti diperlihatkan di bawah ini :

1. Persamaan Dasar Hidrolik

- a. Tekanan Hidrolik (Pressure): Tekanan yang dihasilkan oleh pompa hidrolik dihitung dengan:

$$P = F/A \quad (1)$$

P: Tekanan (Pa atau bar)

F: Gaya yang dihasilkan oleh fluida (N)

A: Luas penampang piston atau silinder (m²)

- b. Debit Fluida (Flow Rate): Debit fluida yang dipompa oleh pompa power steering adalah:

$$Q = v \cdot A \quad (2)$$

Q: Debit fluida (m³/s atau L/min)

A: Luas penampang aliran (m²)

v: Kecepatan fluida (m/s)

- c. Kecepatan Fluida dalam Pipa:

$$v = Q/A \quad (3)$$

- d. Daya Hidrolik (Hydraulic Power):

$$P_h = P \cdot Q \quad (4)$$

Ph: Daya hidrolik (W)

P: Tekanan fluida (Pa)

Q: Debit fluida (m³/s)

2. Persamaan Mekanik Sistem Kemudi

- a. Torsi pada Kemudi (Steering Torque):

$$T = F \cdot r \quad (5)$$

- b. **Gaya Linier pada Steering Rack:**

$$Fr = \frac{T_g}{r_p} \quad (6)$$

Fr: Gaya linier pada rack steering (N).

Tg: Torsi dari steering gear (Nm).

rp: Radius gear pinion (m).

- c. Keuntungan Mekanis (Mechanical Advantage):

$$MA = \frac{r_{steering\ wheel}}{r_{pinion}} \quad (7)$$

3. Efisiensi Sistem Power Steering

- a. Efisiensi Hidrolik (Hydraulic Efficiency):

$$\eta_h = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} \quad (8)$$

- b. Efisiensi Mekanik (Mechanical Efficiency):

$$\eta_m = \frac{W_{Output}}{W_{Input}} \quad (9)$$

η_m : Efisiensi mekanik

W_{Output} : Kerja mekanis yang dilakukan oleh sistem steering (Nm).

W_{Input} : Kerja yang diterapkan pada roda kemudi (Nm).

- c. Efisiensi Total Sistem (Overall Efficiency):

$$\eta_{total} = \eta_h \cdot \eta_m \quad (10)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Hasil penelitian tentang rancang bangun alat peraga sistem kemudi untuk mendukung kegiatan pembelajaran pada mata kuliah body & chasis program studi diploma tiga mesin otomotif seperti terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Pengujian Tekanan Pada Sistem Kemudi Tipe Power Steering Mobil Kijang 7 K dan Trainer

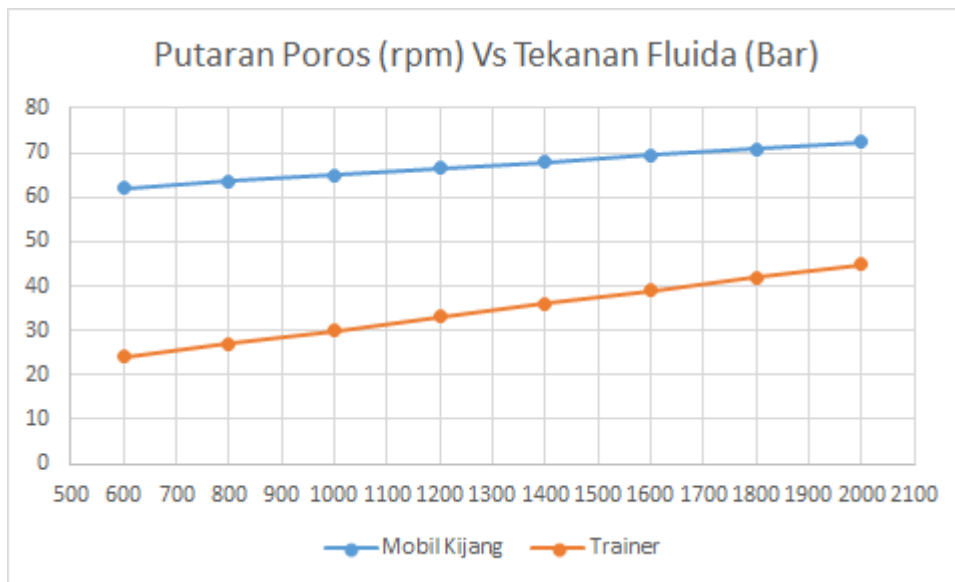
Putaran (rpm)	Tekanan fluida kerja pada mobil Kijang (Bar)	Tekanan fluida kerja pada Trainer (Bar)
600	62.05	24.13
800	63.53	27.09
1000	65.01	30.05
1200	66.49	33.02
1400	67.97	35.98
1600	69.46	38.95
1800	70.92	41.86
2000	72.39	44.82

Tabel 2. Hasil Pengujian Getaran Mekanik Pada Sistem Kemudi Tipe Power Steering

Putaran (rpm)	Getaran mekanik pada mobil Kijang (mm/s)	Getaran mekanik pada Trainer (mm/s)
600	0.80	0.50
800	1.11	0.71
1000	1.43	0.93
1200	1.74	1.14
1400	2.06	1.36
1600	2.37	1.57
1800	2.69	1.79
2000	3.00	2.00

3.2 Pembahasan

Dari hasil pengujian dan pengolahan data di atas dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga dapat dilihat kecenderungan serta hubungan sebab akibat. Selain itu juga akan terlihat peningkatan dan penurunan kinerja alat destilasi dari tampilan pada grafik 3, 4 dan 5 di bawah ini :



Gambar 1. Grafik Korelasi Putaran Poros terhadap Tekanan Fluida Pada Sistem Kemudi

Berdasarkan grafik 1, terlihat dengan jelas bahwa tekanan fluida kerja pada sistem hidrolis power steering mengalami peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya putaran poros atau putaran mesin. Berdasarkan hasil pengujian, terlihat adanya kecenderungan peningkatan tekanan fluida dan getaran mekanis seiring bertambahnya putaran poros. Hubungan ini menunjukkan korelasi positif antara variabel putaran poros dengan respons sistem power steering, di mana peningkatan kecepatan putaran pompa diikuti oleh peningkatan tekanan dan vibrasi yang terukur.

Meskipun secara teoritis peningkatan putaran pompa berpotensi meningkatkan debit dan tekanan fluida, penelitian ini belum menerapkan pengendalian penuh terhadap variabel luar maupun uji statistik inferensial yang diperlukan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat secara kausal. Oleh karena itu, interpretasi hasil difokuskan pada hubungan korelasional yang didukung oleh prinsip kerja sistem hidrolis.

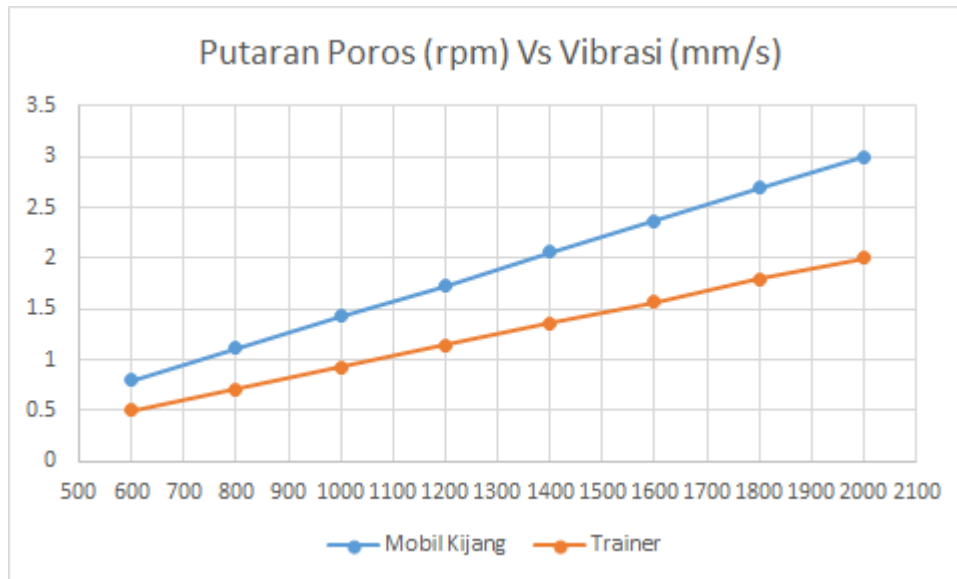
Perbedaan nilai tekanan dan getaran antara sistem mobil Kijang dan trainer menunjukkan bahwa trainer memiliki karakteristik kerja yang lebih moderat. Kondisi ini dapat dipahami sebagai konsekuensi dari perbedaan kapasitas pompa, beban operasional, serta tujuan perancangan, di mana trainer secara sengaja dibatasi agar aman dan sesuai untuk pembelajaran, bukan untuk mereplikasi beban kerja kendaraan secara penuh.

Mekanisme pengaturan tekanan tersebut menjadi aspek penting dalam menjaga kehandalan *power steering*, karena tekanan yang terlalu tinggi dapat merusak selang hidrolis, seal, ataupun komponen internal *rack and pinion*. Di sisi lain, tekanan yang terlalu rendah dapat menurunkan performa sistem kemudi, membuat setir terasa berat dan menyulitkan pengemudi dalam melakukan manuver, terutama pada kecepatan rendah atau saat parkir. Melalui pengamatan grafik, dapat dipahami bahwa kestabilan tekanan sangat mempengaruhi kepekaan dan kenyamanan sistem kemudi secara keseluruhan. Pengaturan tekanan yang optimal memastikan fluida bekerja sesuai karakteristik pompa dan kebutuhan beban kemudi, sehingga kendaraan tetap mudah dikendalikan meskipun berada pada kondisi operasional yang bervariasi. Dengan demikian, analisis terhadap perubahan tekanan hidrolis ini tidak hanya memberikan gambaran tentang unjuk kerja *power steering*, tetapi juga menjadi acuan penting dalam upaya pemeliharaan, perancangan ulang, atau pengembangan sistem kemudi yang lebih efisien dan andal.

Pengukuran tekanan pada sistem *power steering* menjadi langkah penting untuk memastikan performa hidrolis tetap stabil, sehingga selang, *rack steering*, dan komponen lainnya tidak mengalami kerusakan. Selain itu, volume oli hidrolis juga harus selalu terjaga agar sistem mampu menghasilkan tekanan kerja optimal yang mendukung kenyamanan dan kemudahan pengemudi dalam mengendalikan kendaraan. Bila tekanan fluida tidak mencapai nilai kerja yang dibutuhkan, sistem kemudi akan terasa berat dan memerlukan tenaga lebih besar untuk memutar setir. Kondisi ini tentu dapat menurunkan kenyamanan berkendara, terutama saat menempuh perjalanan jarak jauh yang menuntut stabilitas dan efisiensi dalam pengendalian kemudi.

Dari grafik di atas juga terlihat bahwa tekanan fluida yang dihasilkan oleh mobil Kijang lebih besar dari pada desain alat peraga yang dibuat. Hal ini terjadi karena pompa *power steering* pada kendaraan pabrikan seperti mobil Kijang dirancang untuk menghasilkan tekanan puncak yang tinggi karena harus memberikan bantuan kemudi maksimal, terutama saat pengemudi melakukan putaran penuh pada *steering gear* yang membutuhkan gaya hidrolis besar. Untuk memenuhi tuntutan performa dan kenyamanan tersebut, pompa

pabrikasi memiliki kapasitas lebih besar dengan debit fluida yang lebih tinggi. Sebaliknya, pompa pada trainer laboratorium umumnya berukuran lebih kecil atau sengaja dibatasi tekanannya demi keselamatan, efisiensi energi, dan biaya, karena alat tersebut hanya digunakan untuk memperlihatkan prinsip kerja *power steering*. Akibatnya, tekanan hidrolik yang dihasilkan trainer lebih rendah, namun tetap cukup untuk mendemonstrasikan fungsi dasar sistem tanpa risiko kerusakan atau bahaya bagi pengguna.



Gambar 2. Grafik Korelasi Putaran Poros dengan Akselerasi pada Sistem Kemudi

Dari grafik 2 tampak bahwa peningkatan putaran mesin atau putaran poros secara langsung berdampak pada meningkatnya getaran mekanik pada sistem *power steering*. Kondisi ini terjadi karena pompa *power steering* yang terhubung langsung dengan putaran mesin akan berputar lebih cepat, sehingga setiap ketidaksempurnaan pada sistem akan menjadi lebih terasa pada RPM tinggi. Ketidakseimbangan kecil pada pompa dapat menghasilkan gaya sentrifugal yang semakin besar seiring naiknya kecepatan, sementara katup kontrol tekanan yang tidak bekerja optimal dapat menimbulkan fluktuasi tekanan hidrolik yang memicu vibrasi. Selain itu, keberadaan udara di dalam saluran fluida juga berkontribusi terhadap aliran yang tidak merata, dan efeknya semakin jelas ketika putaran mesin meningkat. Faktor-faktor ini memperlihatkan bahwa sistem hidrolik sangat sensitif terhadap kenaikan kecepatan, sehingga kontrol kualitas komponen menjadi sangat penting.

Lebih lanjut, komponen pendukung seperti sabuk penggerak turut berperan dalam munculnya getaran, terutama jika sabuk mulai tergelincir atau mengalami penurunan kinerja pada putaran tinggi. Keausan pada gear rack-and-pinion juga dapat menghasilkan pergerakan yang tidak halus, memperbesar vibrasi saat beban kemudi berubah dengan cepat. Resonansi mekanis dari komponen mesin maupun sistem *power steering* sendiri menjadi faktor tambahan yang dapat memperkuat getaran pada frekuensi tertentu, terutama pada rentang RPM tinggi. Tidak kalah penting, kondisi fluida hidrolik yang tidak memadai baik karena volume yang kurang maupun kualitas oli yang sudah menurun akan membuat pompa bekerja lebih keras sehingga getaran kian terasa. Akumulasi dari berbagai faktor ini menjelaskan mengapa peningkatan putaran mesin berbanding lurus dengan besarnya getaran mekanik yang muncul pada sistem *power steering*.

Dari grafik juga terlihat bahwa getaran mekanik atau vibrasi yang dihasilkan oleh mobil Kijang lebih besar jika dibandingkan dengan desain alat peraga yang dibuat. Hal ini terjadi karena pada sistem *power steering* mobil Kijang, getaran mekanik cenderung lebih tinggi dibandingkan trainer laboratorium karena kendaraan menggunakan komponen asli dengan ukuran pompa yang lebih besar, beban kerja yang lebih tinggi, serta interaksi komponen mekanis yang lebih kompleks. Pompa pabrikasi harus menyalurkan debit dan tekanan fluida yang jauh lebih besar untuk memenuhi kebutuhan kemudi pada kondisi nyata, sehingga setiap ketidakseimbangan, keausan, atau gaya dinamis pada putaran tinggi lebih mudah memunculkan vibrasi. Hal ini terlihat jelas pada nilai getaran dalam satuan mm/s, terutama pada rentang RPM tinggi, di mana peningkatan vibrasi terjadi secara signifikan dan menunjukkan respons sistem yang perlu dicermati. Kenaikan nilai tersebut menjadi indikator penting bahwa stabilitas mekanik, kondisi pompa, kelurusan poros, serta kualitas fluida hidrolik perlu dievaluasi agar getaran tetap berada dalam batas aman dan tidak mengurangi kenyamanan maupun keandalan sistem kemudi.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem power steering pada mobil Kijang menunjukkan nilai tekanan fluida dan getaran mekanik yang lebih tinggi dibandingkan trainer, sejalan dengan perbedaan kapasitas pompa dan beban kerja sistem. Trainer yang dikembangkan mampu merepresentasikan kecenderungan perubahan tekanan dan getaran terhadap variasi putaran poros, meskipun dengan magnitudo yang lebih rendah.

Temuan ini menunjukkan bahwa alat peraga yang dikembangkan memiliki relevansi teknis sebagai media pembelajaran sistem kemudi, khususnya dalam memperlihatkan karakteristik kerja power steering secara aman dan terkontrol. Namun demikian, hasil penelitian ini bersifat terbatas pada kondisi pengujian laboratorium dan parameter yang diamati, sehingga generalisasi terhadap performa kendaraan secara menyeluruh perlu dilakukan dengan kehati-hatian.

5 Referensi

- [1] Putra, R. N. S. P. S., Susanto, I., & Rahmiati 2024. Analisa Kegagalan Low Power Steering Pada Forklift Type Clg2050h. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*. 2024. p. 257-266.
- [2] Alfitra, R. I., Sumiati, R., Nusyirwan, N., & Adriansyah, A. 2019. Pembuatan Simulator Power Steering Beserta Troubleshooting. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 32-37.
- [3] Artika. D. K, Syahyuniar. R, Prionyo. N. 2017. Perancangan Sistem Kemudi Manual Pada Mobil Listrik. *Jurnal Elemen Volume 4 Nomor 1, Juni 2017*. ISSN : 2442-4471.
- [4] Varma. D. T, Reddy. S. D, Vardhan. G. N, Mouli. C. K. 2018. *Design of Steering Geometry For Formula Student Car's. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. Volume 9, Issue 5, May 2018, pp. 182–192. ISSN Print: 0976-6340 and ISSN Online: 0976-6359.
- [5] Syamsi N. A, Permana. T, Noor. M. A. R. 2019. Penerapan Simulator *Power Steering* Hidrolik Untuk Meningkatkan Kompetensi Dasar Memahami Sistem Kemudi Pada Peserta Didik di SMK. *Journal of Mechanical Engineering Education*, Vol. 6, No. 1, Juni 2019.
- [6] Manzallino. L. E, Balbin. B. N, Mendivil. B. D. 2019. *Development and Evaluation of Power Steering System Trainer*. *BU R&D Journal*. 22 (1): 52-59, July 2019 | ISSN (Print): 0016-4139.
- [7] Ikhsan. R. F dan Wijanarko. V. J. 2020. Rancang Bangun *Power Steering* Hidrolik Pada Toyota Kijang 5 K. *JRM*. Volume 06 Nomor 01 Tahun 2020, 100-103.
- [8] Pradana. P. E dan Ansori. A. 2021. Rancang Bangun Sistem Kontrol Power Steering Pada Trainer Sistem Kemudi Sebagai Media Pembelajaran Praktek Chasis. *JRM*. Volume 6 Nomor 02 Tahun 2021, 5 – 9.
- [9] Zhang. J, Niu. S, Li. J, Chu. H, Xie. Y. 2023. *Design of vehicle steering system testing training in augmented reality environme*. *he Frontiers of Society, Science and Technolo*. ISSN 2616-7433 Vol. 5, Issue 10: 119-126, DOI: 10.25236/FSST.2023.051019.