

IMPLEMENTASI SISTEM DEADMAN LOKOMOTIF PADA KENDARAAN RODA EMPAT UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN BERKENDARA

Dhimas Basurama¹, Azam Muzakhim Imammuddin²

dbasurama@gmail.com¹, azam@polinema.ac.id²

Politeknik Negeri Malang

ABSTRAK

Keselamatan berkendara merupakan aspek krusial dalam pengoperasian kendaraan, khususnya kendaraan roda empat yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Salah satu teknologi yang berpotensi meningkatkan keselamatan adalah deadman system, yang secara umum telah diterapkan pada lokomotif kereta api. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem deadman pada kendaraan roda empat guna mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh pengemudi kehilangan kendali akibat kelelahan, gangguan kesehatan, atau kondisi darurat lainnya. Metode penelitian meliputi perancangan dan pengembangan sistem deadman berbasis mikrokontroler yang dikombinasikan dengan sensor untuk mendeteksi aktivitas pengemudi. Sistem dirancang untuk mendeteksi ketidakhadiran pengemudi atau tidak adanya aktivitas tertentu dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Apabila kondisi tersebut terdeteksi, sistem akan memberikan peringatan awal berupa suara atau getaran, dan apabila tidak ada respons, sistem akan mengaktifkan melakukan pengereman.

Kata Kunci: Sistem Deadman, Keselamatan Berkendara, Teknologi Keselamatan.

ABSTRACT

Driving safety is a crucial aspect of vehicle operation, especially for four-wheeled vehicles used daily. One technology that can enhance safety is the deadman system, which is commonly applied to locomotive trains. This research aims to implement a deadman system in four-wheeled vehicles to prevent accidents caused by the driver losing control due to fatigue, health issues, or other emergencies. The method involves designing and developing a microcontroller-based deadman system combined with sensors that detect the driver's presence and activity, such as pressure sensors on the seat and motion sensors on the steering wheel. The system is designed to detect the absence of the driver or a lack of certain activities within a specified period. When such conditions are detected, the system issues an initial warning via sound or vibration, and if there is no response, it activates safety mechanisms such as gradually reducing the vehicle's speed until a complete stop.

Keywords: Deadman System, Driving Safety, Safety Technology.

PENDAHULUAN

Keselamatan lalu lintas masih menjadi salah satu permasalahan paling krusial dalam sistem transportasi modern. Berdasarkan laporan kecelakaan lalu lintas global, kesalahan manusia merupakan penyebab utama sebagian besar kecelakaan di jalan raya, yang sering kali mengakibatkan cedera serius hingga kematian. Faktor umum penyebab kecelakaan tersebut meliputi kelelahan pengemudi, distraksi, kondisi medis mendadak (seperti serangan jantung atau stroke), serta kehilangan kesadaran akibat berbagai kondisi. Meskipun teknologi keselamatan kendaraan terus berkembang, faktor-faktor tersebut masih menimbulkan risiko yang signifikan bagi pengemudi, penumpang, dan pengguna jalan lainnya.

Untuk mengurangi risiko tersebut, industri otomotif telah mengembangkan berbagai Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), seperti peringatan keluar jalur, adaptive cruise control, deteksi kantuk, dan pengereman darurat otomatis. Meskipun sistem-sistem tersebut terbukti efektif dalam menurunkan angka kecelakaan, sebagian

besar masih berfokus pada ancaman eksternal dan belum secara langsung menangani kondisi internal pengemudi. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme keselamatan tambahan yang mampu melakukan intervensi langsung ketika pengemudi tidak mampu mengendalikan kendaraan.

Salah satu mekanisme keselamatan tersebut adalah Deadman System, yaitu teknologi fail-safe yang telah lama diterapkan pada lokomotif, mesin industri, dan sistem transportasi umum. Sistem ini memastikan operator tetap terlibat secara fisik dengan kendali kendaraan. Apabila operator melepaskan kendali akibat ketidaksadaran atau kelalaian, sistem secara otomatis akan memperlambat atau menghentikan kendaraan untuk mencegah kecelakaan. Meskipun terbukti efektif pada transportasi rel, sistem ini belum banyak diterapkan pada kendaraan roda empat.

Penelitian ini mengeksplorasi kelayakan dan efektivitas penerapan Locomotive Deadman System (LDS) pada kendaraan penumpang. Sistem yang diusulkan mengombinasikan sensor tekanan pada kemudi, sensor pedal, serta pemantauan aktivitas pengemudi. Apabila sistem mendeteksi ketidakaktifan pengemudi melebihi ambang waktu yang ditetapkan, sistem akan memulai peringatan dan dilanjutkan dengan perlambatan kendaraan atau penghentian terkontrol.

Tujuan penelitian ini adalah:

- menganalisis efektivitas sistem deadman dalam meningkatkan keselamatan berkendara.
- merancang serta mengembangkan prototipe LDS pada kendaraan roda empat dengan mengevaluasi waktu respons, keandalan, dan penerimaan pengguna.

Tinjauan Pustaka

Pengembangan mekanisme keselamatan untuk mencegah kecelakaan akibat ketidakmampuan pengemudi telah menjadi fokus penelitian di bidang otomotif dan transportasi. Berbagai studi telah mengkaji sistem pemantauan pengemudi, mekanisme fail-safe, dan teknologi intervensi darurat.

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir dengan mengintegrasikan pembelajaran mesin, visi komputer, serta pendekatan berbasis sensor guna meningkatkan keselamatan kendaraan. Penelitian yang dilakukan oleh Chengula et al. mengkaji efektivitas berbagai sistem ADAS, seperti Lane Departure Warning (LDW), Adaptive Cruise Control (ACC), dan Automatic Emergency Braking (AEB) dalam mengurangi tingkat kecelakaan. Meskipun sistem-sistem tersebut mampu memitigasi dampak dari perilaku mengemudi yang ceroboh atau terdistraksi, sistem ini belum secara langsung menangani permasalahan ketidakmampuan pengemudi (driver incapacitation).

Sistem deteksi kantuk pengemudi, seperti yang dibahas oleh Fikriyah et al., memanfaatkan teknologi pelacakan mata dan pengenalan wajah untuk mendeteksi tanda-tanda kelelahan. Namun demikian, sistem tersebut bergantung pada indikator eksternal, sehingga belum tentu mampu mendeteksi kondisi darurat medis yang terjadi secara mendadak, seperti serangan jantung atau stroke. Sebagai perbandingan, Deadman System menawarkan metode intervensi langsung dengan mensyaratkan keterlibatan pengemudi secara terus-menerus dalam pengoperasian kendaraan.

Deadman Systems pada Aplikasi Kereta Api dan Industri

Deadman System telah banyak digunakan pada lokomotif kereta api, mesin industri, serta kendaraan transportasi umum untuk mencegah kecelakaan akibat ketidakresponsifan operator. Efektivitas pedal deadman pada kereta api telah ditunjukkan dalam berbagai implementasi, di mana operator diwajibkan untuk mempertahankan tekanan secara kontinu agar lokomotif tetap beroperasi. Apabila tekanan dilepaskan, kereta akan

mengalami perlambatan secara bertahap hingga berhenti sepenuhnya. Penerapan sakelar deadman pada crane industri dan sistem konveyor otomatis juga telah diteliti dan menunjukkan peningkatan hasil keselamatan kerja.



Gambar 1. Deadman Pedal

Meskipun implementasi tersebut terbukti berhasil, penerapan Deadman System pada kendaraan roda empat masih terbatas. Berbeda dengan lokomotif, kendaraan roda empat beroperasi dalam lingkungan yang dinamis dengan kecepatan lebih tinggi serta kondisi lalu lintas yang tidak dapat diprediksi, sehingga memerlukan sistem yang lebih adaptif. Beberapa produsen otomotif telah menguji konsep serupa, seperti sistem pelepasan Autopilot pada kendaraan Tesla yang mewajibkan pengemudi untuk memberikan input berkala pada kemudi. Namun demikian, sistem-sistem tersebut belum sepenuhnya mengadopsi prinsip Deadman System sebagaimana diterapkan pada transportasi rel.

Sistem Pemantauan Pengemudi dan Sistem Berbasis Biometrik

Perkembangan terkini dalam pemantauan biometrik telah memungkinkan evaluasi kondisi kesehatan dan responsivitas pengemudi secara real-time. Teknologi seperti sensor detak jantung, pemantauan aktivitas otak berbasis EEG, serta kursi dengan sensor tekanan telah digunakan untuk mengidentifikasi kondisi fisiologis yang tidak normal. Beberapa produsen kendaraan, termasuk Mercedes-Benz dan Volvo, telah mengembangkan prototipe yang mengintegrasikan sensor elektrokardiogram (ECG) pada roda kemudi untuk memantau detak jantung pengemudi dan mendeteksi potensi kondisi darurat medis.

Namun demikian, salah satu keterbatasan utama sistem berbasis biometrik adalah ketergantungannya pada perangkat wearable atau sensor tertanam, yang tidak selalu memberikan pengukuran yang akurat atau diterima secara luas oleh pengguna. Selain itu, false positive dapat terjadi ketika fluktuasi kecil pada sinyal fisiologis memicu penghentian kendaraan yang tidak diperlukan. Locomotive Deadman System (LDS) yang diusulkan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dengan menggabungkan sensor keterlibatan fisik, seperti perangkat sensitif tekanan.

Sensor LiDAR dalam Sistem Keselamatan Kendaraan

LiDAR (Light Detection and Ranging) merupakan teknologi sensor canggih yang secara signifikan meningkatkan keselamatan kendaraan melalui deteksi objek dan hambatan di sekitar kendaraan secara real-time. Teknologi ini menggunakan pulsa laser untuk membentuk representasi tiga dimensi beresolusi tinggi dari lingkungan sekitar kendaraan, sehingga mendukung peningkatan kemampuan deteksi objek dan mekanisme penghindaran tabrakan. Dalam kondisi ketidakmampuan pengemudi, integrasi sensor LiDAR dengan Deadman System dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan kendaraan dalam mengevaluasi potensi bahaya dan melakukan penghentian kendaraan secara aman.

Penelitian empiris pada sistem kendaraan otonom secara konsisten menunjukkan

efektivitas teknologi LiDAR dalam meningkatkan kesadaran situasional serta mengurangi risiko tabrakan pada kondisi darurat. Hal ini menegaskan peran penting LiDAR dalam pengembangan sistem kendaraan otomatis yang aman dan andal.

Anti-lock Braking System (ABS) dan Pengereman Darurat

Anti-lock Braking System (ABS) merupakan fitur keselamatan penting yang dirancang untuk mencegah penguncian roda saat pengereman mendadak, sehingga pengemudi tetap dapat mempertahankan kendali terhadap arah kendaraan. Ketika dikombinasikan dengan teknologi pengereman darurat, sistem ABS modern mampu meningkatkan stabilitas kendaraan serta memperpendek jarak pengereman.

Dalam kondisi pengemudi tidak mampu mengendalikan kendaraan, integrasi Deadman System dengan ABS memungkinkan proses perlambatan yang terkontrol, sehingga mengurangi kemungkinan penghentian mendadak yang dapat membahayakan pengguna jalan lainnya. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa ABS secara signifikan mengurangi tingkat keparahan kecelakaan dengan memungkinkan pengemudi tetap melakukan pengendalian arah kendaraan meskipun dalam situasi pengereman darurat.

Kesenjangan Penelitian dan Kontribusi Penelitian Ini

Meskipun telah banyak dilakukan penelitian mengenai Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), Deadman System, dan sistem pemantauan pengemudi berbasis biometrik, hingga saat ini belum terdapat sistem yang secara luas mengintegrasikan prinsip Locomotive Deadman System ke dalam kendaraan roda empat. Mekanisme keselamatan yang ada umumnya berfokus pada kondisi eksternal berkendara (ADAS) atau bergantung pada pemantauan fisiologis pengemudi (biometrik), namun belum menerapkan persyaratan keterlibatan fisik langsung sebagaimana pada Deadman System di transportasi rel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan cara:

- Mengembangkan sistem deadman hibrida untuk kendaraan roda empat yang menggabungkan kontrol sensitif tekanan dengan pemantauan biometrik.
- Menguji efektivitas sistem dalam mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh ketidakmampuan pengemudi.

Melalui penerapan Locomotive Deadman System (LDS) pada kendaraan roda empat, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi fail-safe driving guna meningkatkan keselamatan pengemudi dan pengguna jalan lainnya.

METODOLOGI

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi efektivitas Locomotive Deadman System (LDS) pada kendaraan roda empat. Metodologi penelitian disusun secara sistematis yang meliputi tahap perancangan sistem, pengembangan prototipe, pengujian eksperimental, serta analisis data guna menilai kelayakan penerapan sistem ini dalam meningkatkan keselamatan berkendara.

Perancangan dan Pengembangan Sistem

Sistem LDS yang diusulkan mengintegrasikan berbagai sensor dan komponen kendali untuk memantau aktivitas pengemudi serta melakukan intervensi ketika diperlukan. Proses perancangan sistem meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

- Integrasi Mikrokontroler: Pemilihan mikrokontroler yang sesuai, seperti ESP32, untuk memproses data dari sensor serta mengendalikan respons sistem.
- Implementasi Sensor: Sistem LDS dilengkapi dengan beberapa sensor, antara lain:

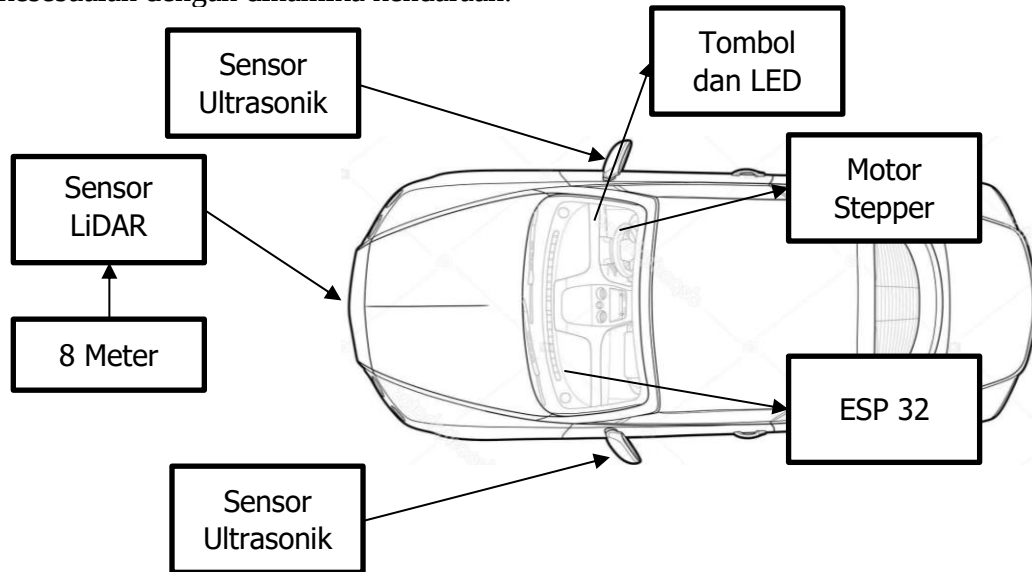
Sensor LiDAR untuk mendeteksi kendaraan atau objek penghalang di depan kendaraan.

Sensor ultrasonik yang juga berfungsi untuk mendeteksi kendaraan atau objek penghalang di depan kendaraan.

- Motor Stepper: Motor stepper digunakan sebagai aktuator untuk menekan pedal rem secara mekanis.

Pembuatan Prototipe

Sebuah prototipe LDS yang berfungsi dikembangkan dan dipasang pada kendaraan uji. Proses kalibrasi sistem dilakukan untuk memastikan respons sistem secara real-time serta kesesuaian dengan dinamika kendaraan.



Gambar 2. Konstruksi prototipe

Pengaturan dan Prosedur Pengujian

Sistem LDS diuji dalam kondisi terkontrol untuk mengevaluasi fungsionalitas, keandalan, dan efektivitas sistem. Kerangka pengujian eksperimental meliputi beberapa aspek berikut:

- Skenario Pengujian:
 - Simulasi ketidakmampuan pengemudi, seperti pengemudi melepaskan tangan dari kemudi
- Pengumpulan Data:
 - Hubungan antara periode kerja motor stepper dalam menekan pedal rem, jarak objek berbahaya yang terdeteksi oleh sensor LiDAR, kecepatan kendaraan, serta jarak yang dibutuhkan kendaraan untuk berhenti selama proses pengereman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Responsivitas dan Fungsionalitas Sistem

Prototipe Locomotive Deadman System (LDS) berhasil diimplementasikan pada kendaraan uji dan dievaluasi dalam berbagai kondisi simulasi, termasuk skenario ketidakmampuan pengemudi seperti pelepasan genggaman dari roda kemudi atau tidak adanya tekanan pada kursi pengemudi. Sistem menunjukkan respons yang akurat pada setiap skenario dengan memberikan peringatan suara dalam waktu 3 detik setelah terdeteksinya ketidakaktifan. Apabila tidak terdeteksi tindakan korektif dalam waktu tambahan 5 detik, motor stepper akan diaktifkan untuk menggerakkan sistem pengereman. Responsivitas sistem dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Respons Sistem pada Berbagai Skenario Ketidakaktifan

Sumber Variasi	F-Value	P-Value	Keterangan
Model	167.05	0.000	Signifikan
Kecepatan Kendaraan	1361.07	0.000	Sangat signifikan
Kecepatan Putaran Motor Stepper	0.01	0.916	Tidak signifikan
Sumber Variasi	F-Value	P-Value	Keterangan
Lama Waktu Menahan Pengereman	65.02	0.000	Signifikan
Sumber Variasi	F-Value	P-Value	Keterangan
Kecepatan ²	61.74	0.000	Signifikan (hubungan kuadratik)
Interaksi Kecepatan × Waktu Pengereman	13.94	0.001	Signifikan

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa model memiliki nilai $F = 753,99$ dengan $P\text{-value} = 0,000$, yang mengindikasikan bahwa model yang digunakan signifikan secara statistik. Variabel kecepatan kendaraan memberikan kontribusi terbesar terhadap respons sistem, diikuti oleh periode kerja motor stepper dan jarak bahaya yang terdeteksi oleh sensor LiDAR. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme reaksi sistem dalam mendeteksi ketidakaktifan pengemudi dan memicu pengereman darurat berjalan secara andal serta memenuhi tujuan keselamatan yang telah ditetapkan pada tahap perancangan.

Pengujian Pengaruh Kecepatan Kendaraan terhadap Jarak Pengereman

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan kendaraan pada beberapa tingkat kecepatan, sementara parameter lain dijaga tetap. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan menyebabkan peningkatan jarak pengereman secara signifikan.

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah kendaraan mampu berhenti dalam jarak yang lebih pendek, sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi jarak pengereman meningkat secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan merupakan parameter utama yang mempengaruhi panjang jarak pengereman.

Hasil analisis statistik menggunakan ANOVA menunjukkan bahwa variabel kecepatan kendaraan memiliki nilai $F\text{-value}$ tertinggi dan $P\text{-value} < 0,05$, sehingga secara statistik berpengaruh signifikan terhadap jarak pengereman.

Pengujian Pengaruh Kecepatan Putaran Motor Stepper terhadap Jarak Pengereman

Pengujian kecepatan putaran motor stepper dilakukan untuk mengetahui pengaruh aktuator pengereman terhadap jarak pengereman kendaraan. Motor stepper diuji pada beberapa tingkat kecepatan putaran dalam kondisi kecepatan kendaraan yang sama.

Berdasarkan hasil pengujian, perubahan kecepatan putaran motor stepper hanya menghasilkan variasi jarak pengereman yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa motor stepper berfungsi sebagai penggerak mekanisme pengereman, namun tidak menjadi faktor utama dalam menentukan panjang jarak pengereman.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa variabel kecepatan motor stepper memiliki nilai F-value yang jauh lebih kecil dibandingkan kecepatan kendaraan, meskipun tetap menunjukkan signifikansi statistik pada tingkat kepercayaan tertentu.

Pengujian Pengaruh Lama Waktu Menahan Pengereman terhadap Jarak Pengereman

Pengujian lama waktu menahan pengereman dilakukan dengan memvariasikan durasi penekanan pedal rem oleh motor stepper. Parameter ini diuji untuk mengetahui efektivitas pengereman terhadap jarak berhenti kendaraan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengereman diterapkan, kendaraan cenderung berhenti pada jarak yang lebih pendek. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pengereman berperan dalam meningkatkan efektivitas deselerasi kendaraan.

Analisis ANOVA menunjukkan bahwa variabel lama waktu pengereman berpengaruh signifikan terhadap jarak pengereman dengan nilai P-value $< 0,05$, meskipun kontribusinya lebih kecil dibandingkan kecepatan kendaraan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan kelayakan dan efektivitas penerapan Locomotive Deadman System (LDS) pada kendaraan roda empat sebagai langkah keselamatan preventif terhadap kondisi ketidakmampuan pengemudi. Integrasi sensor sensitif tekanan, deteksi berbasis LiDAR, serta sistem kendali berbasis mikrokontroler memungkinkan pemantauan keterlibatan pengemudi dan kondisi lingkungan kendaraan secara real-time. Pengujian eksperimental mengonfirmasi bahwa sistem LDS mampu mendeteksi ketidakaktifan pengemudi secara cepat dan memulai proses intervensi bertahap, yang meliputi pemberian peringatan suara dan pengereman terkontrol.

Temuan utama dari penelitian ini meliputi:

- Deteksi Ketidakaktifan Pengemudi yang Andal: Sistem mampu mengidentifikasi kondisi kritis seperti tidak adanya kontak tangan pada kemudi atau tekanan pada kursi pengemudi, dengan waktu respons rata-rata kurang dari 9 detik.
- Integrasi dengan LiDAR dan ABS: Penggunaan sensor LiDAR memungkinkan sistem menyesuaikan perilaku pengereman berdasarkan jarak objek secara real-time, sementara integrasi dengan ABS memastikan stabilitas kendaraan selama proses pengereman darurat.
- Umpan Balik Pengguna yang Positif: Uji coba awal dengan pengemudi sukarelawan menunjukkan penerimaan yang baik terhadap pengoperasian dan antarmuka sistem, meskipun masih diperlukan peningkatan untuk mengurangi false positive dan meningkatkan tingkat kustomisasi pengguna.

Secara keseluruhan, LDS menawarkan solusi yang kuat dan adaptif untuk meningkatkan keselamatan berkendara, khususnya dalam kondisi di mana pengemudi mengalami gangguan akibat kelelahan, masalah kesehatan, atau kondisi medis mendadak. Pendekatan hibrida yang mengombinasikan sensor keterlibatan fisik dengan kesadaran lingkungan ini menjadi langkah maju yang signifikan dibandingkan teknologi ADAS konvensional yang umumnya hanya berfokus pada perilaku pengemudi atau dinamika kendaraan secara terpisah.

DAFTAR PUSAKA

- A. Haider, "Performance Evaluation of MEMS-Based Automotive LiDAR Sensor and Its Simulation Model as per ASTM E3125-17 Standard," *Sensors*, pp. 2-26, 2023. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36991824/>
- A. R. Abdillah, "Internet of Things Based Trailer Truck Distance Warning Security Settings Monitoring System," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Elektro (JITEK)* vol. 3, pp. 25-32, 2024.
- A. R. Dayus, "Implementation of an Electric Car Braking and Parking System Using Ultrasonic Sensors Based on Arduino UNO," *J-Com (Journal of Computer)* vol. 2, pp. 101-106, 2022. [Online]. Available: <http://jurnal.stmikroyal.ac.id/index.php/j-com>.
- B. A. Nurcahyo, "DESIGN SCHEMATIC DEADMAN AND EMERGENCY SYSTEM DENGAN AUTOCAD PADA LOKOMOTIF DIESEL HIDROLIK (DH) CC300 BAGIAN DESAIN DAN REKAYASA DI PT. INDUSTRI KERETA API (PERSERO) MADIUN," 2014. [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/75767>.
- B. S. Jahromi, "Real-Time Hybrid Multi-Sensor Fusion Framework for Perception in Autonomous Vehicles," *Sensors*, pp. 2-23, 2019. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31600922/>.
- E. Capellier, "Evidential deep learning for arbitrary LIDAR object classification in the context of autonomous driving," *IEEE Symposium on Intelligent Vehicle*, 2019. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8813846>.
- E. Esen, "Analyzing the Effects of Interference on Various Automotive LIDAR Architectures," *Applications of Lasers for Sensing and Free Space Communications*, 2024. [Online]. Available: <https://opg.optica.org/abstract.cfm?URI=LSC-2024-LsM1C.2>.
- F. D. H. Fikriyah, "Eye Fatigue Detection in Vehicle Drivers Based on Facial Landmarks Features," *Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran*, vol. 19, 1, pp. 11-19, 2021. [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/rekayasa/article/view/30993/12389>.
- F. Rosique, "A Systematic Review of Perception System and Simulators for Autonomous Vehicles Research," *Sensors*, pp. 2-29, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/3/648>.
- G. Liu, "Study on the detection technology for inner-wall outer surface defects of the automotive ABS brake master cylinder based on BM-YOLOv8," vol. 35, no. 5, 2024. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/ad25df>.
- I. Bilik, "Comparative Analysis of Radar and Lidar Technologies for Automotive Applications," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 15, no. 1, pp. 244-269, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9760734>.
- J. Gómez, "Efficient Detection and Tracking of Human Using 3D LiDAR Sensor," *Sensors*, pp. 2-12, 2023. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37430633/>.
- J. Lianga, "Stability control of automotive hydraulic system based on ABS coordinated control," *Desalination and Water Treatment*, vol. 269, pp. 295-302, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624086090?via%3Dihub>.
- K. Liu, "A Comparison Study of Person Identification Using IR Array Sensors and LiDAR," *Sensors* pp. 1-29, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/1/271>.
- L. Masello, "On the road safety benefits of advanced driver assistance systems in different driving contexts " *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 15, pp. 1-20, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198222001300>.
- M. A. Rohman, "Pemeriksaan dan Perawatan Berkala Deadman Pada Divisi Elektrik Lokomotif CC201 dan CC203," *Politeknik Negeri Jember*, 2024. [Online]. Available: <https://sipora.polije.ac.id/31787/4/Laporan%20Lengkap.pdf>
- N. Jennan, "Optimal xed-time sliding mode control for anti-lock braking systems based fuzzy logic and neural network," *Results in Engineering*, vol. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302500009X>.
- N. Listiyono, Khambali, "Compressor Air Pressure and Brake Shield Distance Brake to Braking

- Accuracy on Brakes Antilock Braking System," Asian Journal Science and Technology, vol. 1, 1, pp. 37-47, 2022. [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=2HiMtSgAAAAAJ&citation_for_view=2HiMtSgAAAAAJ:qjMakFHDy7sC.
- Q. Shi, "Nonlinear wheel-slip dynamics of battery electric vehicle for anti-lock brake system control by traction motor," NonLinear Dynamics, 2023. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11071-023-08907-8>.
- R. F. W. Usworo, "Optimalisasi Perawatan Terhadap Guna Meminimalisir Gangguan Terhadap Lokomotif CC 203 di DAOP 2 Bandung," Jurnal Perkeretaapian Indonesia, vol. III, pp. 153-159, 2019.
- R. Hussain, "Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges," IEEE Communication Surveys & Tutorrial, vol. 21, no. 2, pp. 1275 - 1313, 2018. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8457076>.
- R. Roriz, "A Survey on Data Compression Techniques for Automotive LiDAR Point Clouds," Sensors, pp. 2-31, 2024. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38794039/>.
- R. Safira, "Implementation of legal sanctions and regulations in reducing traffic accidents," EKSISHUM pp. 37-44, 2023.
- S. K. Ahmed, "Road traffic accidental injuries and deaths: A neglected global health issue," Health Science Report, pp. 1-6, 2022. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10154805/pdf/HSR2-6-e1240.pdf>.
- S. S. Saha, "Real-Time Stairs Detection and Terrain Classification: Evaluating LiDAR Sensor Performance," Master of Applied Science, Mechanical and Mechatronics Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2025. [Online]. Available: <https://uwspace.uwaterloo.ca/items/15f26ffe-8ef4-42ac-9698-7af7ed31bc07>
- T. J. Chengula, "Enhancing advanced driver assistance systems through explainable artificial intelligence for driver anomaly detection," Machine Learning with Applications, vol. 17, pp. 1-11, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827024000562>.
- V. Ilci, "High Definition 3D Map Creation Using GNSS/IMU/LiDAR Sensor Integration to Support Autonomous Vehicle Navigation," Sensors, vol. 2-17, 2020. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32046232/>.
- X. Xian, "Single Photon Detectors for Automotive LiDAR Applications: State-of-the-Art and Research Challenges," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 30, no. 1, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10214649>.
- Y. Ardana, "DEADMAN DAN EMERGENCY SYSTEM PADA LOKOMOTIF DIESEL HIDROLIK (DH) CC300 DI PT. INDUSTRI KERETA API (PERSERO) MADIUN," 2013. [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/64164>.
- Y. Liang, "The New Autonomous Incentive Hardware Platform Indoor of Automotive ABS System," Materials Science, Machinery and Energy Engineering, 2018. [Online]. Available: <https://www.clausiuspress.com/conference/article/artId/581.html>.