



Pengembangan Instrumen Uji Perlambatan Kendaraan Berdasarkan Gerak Lurus Berubah Beraturan pada Metode Road Test

Muhammad Riski Septiana Wibowo¹, M. Iman Nur Hakim², Siti Shofiah^{3*}, Muhammad Isro Risqi⁴, Denisya Haddad Firdaus⁵

¹⁻⁵Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Indonesia

Alamat: Jl. Semeru No.3, Kota Tegal

Korespondensi penulis: sitishofiah@pktj.ac.id

Abstract: The braking system was a crucial component in ensuring the safety of motor vehicles on the road. Brake failures, such as brake fade or total malfunction, could result in fatal accidents. Therefore, an accurate and realistic testing method was necessary to measure the effectiveness of a vehicle's braking system. This study aimed to develop a deceleration measuring device based on GPS, which could be used in road test methods. The device was designed using an ESP32 microcontroller combined with a BN-220 GPS module, RTC real-time clock sensor, 16x2 LCD, thermal printer, and microSD storage media. Testing was conducted on a Mitsubishi L300 vehicle at the Depok Beach runway in Yogyakarta, with initial speed variations ranging from 10 to 80 km/h. Calibration results showed that the device had an accuracy of 99.64% with an average error of 0.36%. Meanwhile, the test results recorded deceleration values ranging from 0.74 to 3.26 m/s², depending on the initial speed and braking conditions. Based on these findings, the developed device proved to be accurate and feasible as an alternative method for field testing of braking systems.

Keywords: Vehicle Deceleration; Braking System; GPS; Road Test; ESP32 Microcontroller

Abstrak: Sistem pengereman merupakan komponen krusial dalam menjamin keselamatan kendaraan bermotor di jalan. Kegagalan sistem rem, seperti rem blong, dapat berakibat fatal dan menimbulkan kecelakaan serius. Oleh karena itu, diperlukan metode pengujian yang akurat dan realistis guna mengukur efektivitas sistem pengereman kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pengukur perlambatan kendaraan berbasis GPS yang dapat digunakan dalam metode uji jalan (road test). Alat ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dikombinasikan dengan modul GPS BN-220, sensor waktu nyata RTC, LCD 16x2, printer thermal, dan media penyimpanan microSD. Pengujian dilakukan pada kendaraan Mitsubishi L300 di landasan pacu Pantai Depok, Yogyakarta, dengan variasi kecepatan awal antara 10 hingga 80 km/jam. Hasil kalibrasi menunjukkan akurasi alat mencapai 99,64% dengan rata-rata error 0,36%. Sementara itu, hasil pengujian mencatat nilai perlambatan berkisar antara 0,74 hingga 3,26 m/s², bergantung pada kecepatan awal dan kondisi pengereman. Berdasarkan temuan ini, alat yang dikembangkan terbukti akurat dan layak digunakan sebagai alternatif metode pengujian sistem pengereman di lapangan.

Kata kunci: Perlambatan Kendaraan; Sistem Pengereman; GPS; Road Test; Mikrokontroler ESP32

1. LATAR BELAKANG

Keselamatan kendaraan bermotor di jalan raya merupakan isu kritis yang memerlukan perhatian serius, khususnya terkait dengan efektivitas sistem pengereman (Halimatus Sa'diyah et al., 2020; Nurlina et al., 2021; Pranoto et al., 2020). Data Korlantas Polri menunjukkan bahwa sekitar 15% kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh kegagalan sistem rem kendaraan, dengan tingkat fatalitas yang tinggi karena ketidakmampuan kendaraan untuk berhenti pada jarak yang aman (Ayunaning, 2023; Kurniasih et al., 2022). Kasus kecelakaan tragis di kawasan Bromo pada tahun 2024 yang mengakibatkan dua korban jiwa akibat rem blong menjadi bukti nyata urgensi pengujian fungsi pengereman secara akurat dan berkala (Rofiq, 2024).

Sistem pengujian kendaraan bermotor saat ini menggunakan brake tester yang mengukur efisiensi pengereman secara statis dengan menempatkan roda kendaraan pada roller yang berputar (Nurlina et al., 2021). Meskipun metode ini telah distandarisasi dan digunakan secara luas, terdapat keterbatasan fundamental yaitu tidak mencerminkan kondisi pengereman sesungguhnya di jalan raya. Pengujian statis tidak mempertimbangkan faktor-faktor dinamis seperti transfer beban, kondisi permukaan jalan, dan perilaku ban yang berinteraksi dengan aspal, sehingga hasil pengujian mungkin tidak merepresentasikan performa sistem rem dalam kondisi operasional sebenarnya (Nurlina et al., 2021; Pranoto et al., 2020).

Penelitian terdahulu oleh (Pranoto et al., 2020) menunjukkan perbedaan signifikan antara hasil pengujian rem statis dan road test, dimana pengujian road test memberikan gambaran yang lebih realistis tentang performa sistem pengereman. Namun, metode road test konvensional masih menggunakan pengukuran manual yang rentan terhadap error manusia dan kurang presisi dalam pencatatan data. (Nurlina et al., 2021) mengidentifikasi kebutuhan pengembangan sistem pengukuran otomatis untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas pengujian road test.

Perkembangan teknologi GPS modern telah mencapai tingkat akurasi yang memungkinkan pengukuran kecepatan dan posisi dengan presisi tinggi. Teknologi ini membuka peluang pengembangan sistem pengukuran perlambatan yang portabel, akurat, dan cost-effective. Prinsip kinematika Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) dapat diaplikasikan untuk menghitung perlambatan berdasarkan data kecepatan dan waktu yang diperoleh dari sensor GPS dengan akurasi tinggi (Rejeki et al., 2024).

Gap analysis menunjukkan bahwa belum ada penelitian yang mengembangkan alat pengukur perlambatan kendaraan berbasis GPS yang terintegrasi dengan sistem pencatatan data otomatis dan analisis real-time. Penelitian sebelumnya masih menggunakan pendekatan manual atau sistem yang terpisah-pisah, sehingga efisiensi pengujian dan akurasi data masih dapat ditingkatkan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi teknologi GPS dengan mikrokontroler ESP32 yang mampu melakukan pengukuran, analisis, dan dokumentasi hasil secara otomatis dalam satu sistem yang portabel.

Urgensi penelitian ini semakin tinggi mengingat meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia yang memerlukan pengujian berkala untuk memastikan kelaikan jalan. Sistem pengujian yang lebih akurat dan realistis akan berkontribusi signifikan terhadap peningkatan keselamatan berkendara dan pengurangan angka kecelakaan akibat kegagalan sistem rem. Penelitian ini bertujuan mengembangkan alat pengukur perlambatan kendaraan berbasis GPS dengan metode road test yang dapat digunakan sebagai alternatif atau pelengkap

sistem pengujian rem konvensional, serta mengevaluasi akurasi dan reliabilitas alat yang dikembangkan dalam mengukur performa sistem pengereman kendaraan.

2. KAJIAN TEORITIS

Kinematika Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Analisis perlambatan kendaraan didasarkan pada prinsip kinematika Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB), khususnya pada kondisi perlambatan dimana percepatan bernilai negatif. Dalam konteks pengereman kendaraan, GLBB menggambarkan perubahan kecepatan yang teratur terhadap waktu akibat gaya pengereman yang konstan (Hakim et al., 2022; Listyaningrum & Widodo, 2024; Rejeki et al., 2024). Persamaan dasar yang digunakan meliputi:

$$\text{Persamaan kecepatan: } v_t = v_0 + at$$

$$\text{Persamaan jarak: } s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{Persamaan hubungan kecepatan-jarak: } v_t^2 = v_0^2 + 2as$$

dimana v_0 adalah kecepatan awal, v_t adalah kecepatan akhir, a adalah percepatan (negatif untuk perlambatan), t adalah waktu, dan s adalah jarak tempuh. Validitas penerapan model GLBB pada pengereman kendaraan telah dikonfirmasi melalui berbagai penelitian empiris yang menunjukkan korelasi tinggi antara data eksperimental dengan prediksi teoritis.

Teknologi GPS untuk Pengukuran Kecepatan Kendaraan

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem navigasi satelit yang mampu menentukan posisi dan kecepatan dengan akurasi tinggi (Sunitha et al., 2021). Dalam konteks pengukuran kecepatan kendaraan, GPS menggunakan efek Doppler dan diferensiasi posisi terhadap waktu untuk menghitung kecepatan instantaneus. Akurasi pengukuran kecepatan GPS modern telah mencapai tingkat error di bawah 1% pada kondisi optimal, menjadikannya suitable untuk aplikasi pengukuran perlambatan kendaraan.

Keunggulan penggunaan GPS dibandingkan sensor kecepatan konvensional antara lain independence terhadap karakteristik kendaraan (ukuran ban, gear ratio), kemampuan pengukuran pada berbagai kondisi jalan, dan portabilitas sistem. Namun, akurasi GPS dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti multipath signal, atmospheric delay, dan satellite geometry, sehingga perlu dilakukan kalibrasi untuk memastikan reliabilitas pengukuran.

Sistem Pengereman Kendaraan dan Standar Pengujian

Sistem pengereman kendaraan berfungsi mengkonversi energi kinetik menjadi energi thermal melalui gesekan antara komponen rem (brake pad/shoe) dengan disc/drum (Halimatus

Sa'diyah et al., 2020; Nurlina et al., 2021). Efektivitas sistem rem ditentukan oleh berbagai faktor termasuk kondisi komponen rem, karakteristik hidrolis, dan distribusi gaya pengereman pada setiap roda.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan, efisiensi sistem rem harus memenuhi hasil pengukuran dengan perlambatan minimum $5,0 \text{ m/s}^2$. Standar ini ditetapkan berdasarkan pertimbangan keselamatan untuk memastikan kendaraan dapat berhenti dalam jarak yang aman pada berbagai kondisi operasional. Pengujian konvensional menggunakan brake tester mengukur gaya pengereman pada roller, namun tidak secara langsung mengukur perlambatan aktual kendaraan dalam kondisi road test (Halimatus et al., 2020; Halimatus Sa'diyah et al., 2020; Nurlina et al., 2021).

Penelitian Terdahulu dan Gap Analysis

(Pranoto et al., 2020) melakukan studi komparatif antara pengujian rem statis dan road test, menemukan bahwa road test memberikan hasil yang lebih representatif terhadap kondisi pengereman sesungguhnya. Penelitian ini menggunakan metode manual untuk pengukuran jarak dan waktu, yang rentan terhadap human error dan keterbatasan presisi.

(Nurlina et al., 2021) mengembangkan metode pengujian road test dengan instrumentasi yang lebih baik, namun masih menggunakan sistem pengukuran terpisah dan belum terintegrasi. Hasil penelitian menunjukkan variabilitas yang tinggi pada pengukuran manual, mengindikasikan kebutuhan sistem otomatis yang lebih reliable.

(Badawi, 2020) menganalisis pengaruh jenis permukaan jalan terhadap perlambatan kendaraan, menemukan perbedaan signifikan antara perlambatan pada jalan aspal dan beton. Penelitian ini menekankan pentingnya standarisasi kondisi pengujian untuk memperoleh hasil yang comparable.

Subekti (2019) melakukan analisis perbandingan pengujian rem dengan variasi pedal force, menunjukkan bahwa konsistensi teknik pengereman berpengaruh signifikan terhadap repeatability hasil pengukuran. Temuan ini mengindikasikan perlunya protokol standar untuk meminimalkan variabilitas yang disebabkan faktor operator.

Gap yang teridentifikasi dari penelitian terdahulu meliputi: keterbatasan akurasi pengukuran manual, kurangnya integrasi sistem pengukuran dan dokumentasi, belum adanya validasi komprehensif terhadap model teoritis GLBB, dan ketidaktersediaan sistem portable yang dapat digunakan untuk berbagai jenis kendaraan. Penelitian ini bertujuan mengisi gap tersebut melalui pengembangan sistem terintegrasi berbasis GPS dengan validasi empiris yang komprehensif.

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan road test untuk mengembangkan dan menguji alat pengukur perlambatan kendaraan. Desain eksperimen mengikuti prinsip controlled testing dimana variabel independent berupa kecepatan awal kendaraan divariasikan secara sistematis, sedangkan variabel dependent berupa perlambatan, waktu pengereman, dan jarak pengereman diukur menggunakan alat yang dikembangkan (Skorupka, 2022).

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian adalah kendaraan bermotor kategori angkutan barang yang wajib menjalani pengujian berkala sesuai Peraturan Pemerintah No. 55 Tahun 2012 (*Pengujian Berkala Kendaraan Bermotor*, 2015; Peraturan Menteri Perhubungan, 2021). Sampel penelitian menggunakan satu unit kendaraan Mitsubishi L300 tahun 2015 dengan sistem rem konvensional (non-ABS) dalam kondisi standar tanpa muatan. Pemilihan kendaraan ini didasarkan pada representativeness terhadap kendaraan niaga yang umum digunakan di Indonesia dan availability untuk pengujian intensif.

Instrumen Penelitian

Alat pengukur perlambatan dirancang menggunakan komponen utama berupa mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses dengan spesifikasi dual-core 240MHz dan memori 520KB SRAM. Modul GPS BN-220 digunakan sebagai sensor kecepatan dengan akurasi ± 1 m/s dan update rate 10Hz. Sensor Real Time Clock (RTC) DS3231 menyediakan timestamp dengan akurasi ± 2 ppm. LCD 16x2 dengan interface I2C berfungsi sebagai display real-time, printer thermal untuk dokumentasi hasil, dan modul microSD untuk data logging.

Kalibrasi instrumen dilakukan dengan membandingkan pembacaan GPS terhadap speedometer kendaraan yang telah dikalibrasi pada fasilitas pengujian resmi. Validitas instrumen diuji melalui pengukuran berulang pada kecepatan konstan dengan variasi 10-80 km/jam. Reliabilitas diverifikasi melalui *test-retest consistency* dengan interval pengukuran 24 jam pada kondisi yang identik.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di landasan pacu Pantai Depok, Yogyakarta dengan spesifikasi panjang 800 meter, lebar 12 meter, dan permukaan aspal dalam kondisi kering. Lokasi dipilih berdasarkan kriteria flat surface, minimal traffic interference, dan consistent environmental conditions. Prosedur pengujian meliputi tahapan: akselerasi kendaraan hingga kecepatan target (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 km/jam), aktivasi sistem pengukuran bersamaan

dengan inisiasi pengereman, pencatatan otomatis data kecepatan real-time dengan sampling rate 10Hz, dan terminasi pengukuran saat kendaraan berhenti ($v < 1$ km/jam). Setiap variasi kecepatan diulang minimal 3 kali untuk memastikan repeatability.

Alat Analisis Data

Analisis data menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk karakterisasi distribusi data dan inferensial untuk pengujian hipotesis. Validasi model GLBB dilakukan melalui analisis regresi linear untuk hubungan kecepatan-waktu dan regresi kuadratik untuk hubungan jarak-waktu. Uji korelasi Pearson digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

Model matematik perlambatan diformulasikan sebagai $a = (v_0 - v_t)/t$ dimana a adalah perlambatan dalam m/s^2 , v_0 adalah kecepatan awal dalam m/s , v_t adalah kecepatan akhir (≈ 0), dan t adalah waktu pengereman dalam detik. Jarak pengereman dihitung menggunakan $s = v_0t - \frac{1}{2}at^2$ dengan s dalam meter. Analisis error dilakukan melalui perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk evaluasi akurasi sistem (Buaton, 2021; Guerra et al., 2022; Liu et al., 2023; Manikandan & Kaliyaperumal, 2024).

Validitas construct diuji melalui *confirmatory factor analysis* untuk memastikan variabel yang diukur merepresentasikan konstruk teoritis GLBB. Reliabilitas internal dievaluasi menggunakan *Cronbach's alpha* untuk konsistensi pengukuran berulang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan selama periode Februari–Maret 2025 di landasan pacu Pantai Depok, Yogyakarta, dalam kondisi cuaca cerah dengan suhu berkisar antara 28–32°C dan kelembaban relatif 65–75%. Pengujian dilakukan setiap pagi pukul 08.00–10.00 WIB untuk meminimalkan variabilitas kondisi lingkungan dan memastikan konsistensi pengukuran antar sesi uji.

Hasil Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi alat menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat antara pembacaan GPS dan speedometer kendaraan (Tabel 1). Persamaan regresi yang diperoleh adalah $y = 1,0002x - 0,0125$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9998$, menunjukkan bahwa hampir seluruh variabilitas data dapat dijelaskan oleh model. Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 0,36% dengan standar deviasi 0,28% mengindikasikan presisi yang tinggi.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Alat Pengukur Perlambatan

Kecepatan Referensi (km/jam)	Pembacaan GPS (km/jam)	Error Absolut (km/jam)	Error Relatif (%)
10	10,1	0,1	1,00
20	20,1	0,1	0,50
30	29,9	0,1	0,33
40	40,0	0,0	0,00
50	50,1	0,1	0,20
60	59,8	0,2	0,33
70	70,2	0,2	0,29
80	80,4	0,4	0,50
Rata-rata	—	0,15	0,36

Distribusi kesalahan menunjukkan pola acak tanpa bias sistematis, yang menegaskan keandalan instrumen untuk pengukuran kecepatan pada rentang operasional yang ditentukan.

Hasil Pengukuran Perlambatan Kendaraan

Pengujian dilakukan pada delapan variasi kecepatan awal untuk menganalisis karakteristik perlambatan (Tabel 2). Nilai perlambatan yang diperoleh bervariasi antara 0,74 hingga 3,06 m/s², yang mencerminkan pengaruh signifikan dari faktor dinamis selama proses pengereman.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Perlambatan Kendaraan

Kecepatan Awal (km/jam)	Waktu Pengereman (s)	Jarak Pengereman (m)	Perlambatan (m/s ²)	Status Standar (PP 55/2012)
10	3,97	5,84	0,74	Tidak Memenuhi
20	2,05	5,86	2,78	Tidak Memenuhi
30	3,72	15,74	2,27	Tidak Memenuhi
40	4,24	23,81	2,65	Tidak Memenuhi
50	6,32	44,35	2,22	Tidak Memenuhi
60	12,24	102,57	1,37	Tidak Memenuhi
70	7,05	69,28	2,78	Tidak Memenuhi
80	7,28	81,33	3,06	Tidak Memenuhi
Rata-rata	6,36	43,60	2,23	Tidak Memenuhi

Seluruh hasil menunjukkan bahwa nilai perlambatan tidak mencapai standar minimum 5,0 m/s² yang ditetapkan oleh PP 55/2012, mengindikasikan perlunya evaluasi terhadap sistem pengereman kendaraan.

Validasi Model Kinematika GLBB

Validasi dilakukan melalui analisis hubungan antara data eksperimen dan model teoritis Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) menunjukkan kecocokan yang cukup baik, dengan

nilai koefisien determinasi rata-rata sebesar $R^2=0,943$. Hal ini mengindikasikan bahwa sekitar 94,3% variasi dalam data eksperimen dapat dijelaskan oleh model teoritis GLBB, sehingga model tersebut dapat dianggap representatif dalam menggambarkan fenomena gerak yang diamati., menunjukkan bahwa model GLBB cukup akurat untuk menggambarkan proses pengereman.

Tabel 3. Analisis Korelasi Variabel Pengujian

Hubungan Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Signifikansi (p)	Interpretasi
Kecepatan ↔ Jarak Pengereman	0,891	< 0,01	Sangat Kuat
Waktu ↔ Jarak Pengereman	0,823	< 0,01	Kuat
Kecepatan ↔ Perlambatan	0,156	> 0,05	Tidak Signifikan
Waktu ↔ Perlambatan	-0,567	< 0,05	Sedang (Negatif)

Tabel 3, Hasil ini menunjukkan bahwa jarak pengereman sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan waktu pengereman, sementara perlambatan dipengaruhi oleh faktor lain yang lebih kompleks. Tingkat variabilitas perlambatan yang tinggi (CV = 34,8%) dianalisis berdasarkan tiga kategori utama: ketidakkonsistenan tekanan pedal rem, waktu aplikasi rem, dan pengalaman pengemudi menghasilkan variasi gaya pengereman hingga $\pm 25\%$, ketebalan kampas rem (8–12 mm), tekanan ban (32–35 psi), dan temperatur rem yang meningkat menyebabkan variasi performa rem serta variasi kecil pada permukaan jalan, fluktuasi suhu ambient ($\pm 4^\circ\text{C}$), dan arah angin turut memengaruhi performa pengereman.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dibanding metode yang digunakan dalam studi terdahulu.

Tabel 4. Perbandingan Akurasi Metode Pengujian

Peneliti	Metode	Akurasi (%)	Error (%)	Tahun
Pranoto et al.	Brake Tester	95,2	4,8	2020
Nurlina et al.	Road Test Manual	92,1	7,9	2021
Subekti	Static vs Road Test	93,5	6,5	2019
Penelitian Ini	GPS Road Test	99,64	0,36	2025

Terdapat peningkatan akurasi sebesar 4,44% dibanding metode terbaik sebelumnya, menunjukkan efektivitas sistem otomatis berbasis GPS dalam pengukuran dinamis (Tabel 4).

Perbedaan hasil antara metode konvensional dan pengujian lapangan menunjukkan kemungkinan overestimasi efektivitas sistem pengereman dalam pengujian statis. Hasil ini mengindikasikan perlunya revisi atau penyesuaian terhadap standar PP 55/2012, dengan mempertimbangkan integrasi antara metode statis dan dinamis untuk evaluasi yang lebih menyeluruh. Beberapa keterbatasan yang perlu dicatat meliputi: Penggunaan satu jenis kendaraan (Mitsubishi L300) membatasi generalisasi, lokasi tunggal dengan kondisi spesifik dan variabilitas tinggi dari operator. Disarankan adanya standardisasi prosedur serta pengembangan sistem pengereman otomatis untuk pengujian yang lebih objektif. Penelitian ini mengonfirmasi validitas model GLBB dalam konteks pengereman kendaraan dan mengusulkan pendekatan pengukuran baru berbasis GPS. Alat yang dikembangkan menawarkan solusi portabel dan efisien biaya yang dapat digunakan dalam pengujian lapangan tanpa ketergantungan pada alat uji statis mahal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan alat pengukur perlambatan kendaraan berbasis GPS dengan akurasi 99,64% dan error rata-rata 0,36%, melebihi metode konvensional. Validasi terhadap model kinematika GLBB menunjukkan tingkat kecocokan tinggi ($R^2 = 0,943$), membuktikan validitas pendekatan teoritis. Pengujian menunjukkan bahwa seluruh nilai perlambatan berada di bawah standar minimum 5,0 m/s², dengan rata-rata 2,23 m/s², mengindikasikan adanya faktor operator, kendaraan, dan lingkungan yang signifikan. Alat ini memberikan opsi uji road test yang efisien dan praktis, serta mampu melengkapi pengujian konvensional yang dilakukan secara statis. Integrasi teknologi GPS dan sistem dokumentasi otomatis juga meningkatkan efisiensi serta keandalan proses evaluasi sistem pengereman.

DAFTAR REFERENSI

- Ayunaning, K. (2023). Sosialisasi Disiplin Berlalu Lintas Pada Siswa Sma/Smk. *IJCOSIN: Indonesian Journal of Community Service and Innovation*, 3(1), 9–15. <https://doi.org/10.20895/ijcosin.v3i1.600>
- Badawi, A. (2020). *Disusun oleh : AHMAD BADAWI 17.III.0455*.
- Buaton, R. (2021). *Model Optimization in The Discovery of The Rule Time Series Data Mining* [Universitas Sumatera Utara]. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/39568>
- Guerra, A., Gadhiya, V., & Srisurin, P. (2022). ASEAN Engineering Journal □. *ASEAN Engineering Journal*, 12(3), 27–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.11113/aej.v12.17601>

- Hakim, A. R., Shofiah, S., Nasir, M., Asmin, L. O., Annisa, F., Sari, F. P., & Asmoro, L. (2022). *FISIKA*.
- Halimatus, N., Kaharmen, H. M., & Shofiah, S. (2020). Pengaruh Perbedaan Tekanan Angin Ban Kendaraan Isuzu TLD 24 C Terhadap Hasil Pengujian Rem di UPTD PKB Wiyung Kota Surabaya. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 18–24.
- Halimatus Sa'diyah, N., Mariadi Kaharmen, H., & Shofiah, S. (2020). Efisiensi Rem Kendaraan Isuzu Tld 24 C Dengan Variasi Beban Dan Tekanan Angin Ban. *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 7(2), 55–59. <https://doi.org/10.46447/ktj.v7i2.208>
- Kurniasih, K., Machfutra, E. D., & Nantabah, Z. K. (2022). Faktor Yang Berhubungan Dengan Kejadian Cedera pada Pengendara Sepeda Motor Siswa SMK Negeri 1 Puring Kabupaten Kebumen. *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*, 25(1), 61–70. <https://doi.org/10.22435/hsr.v25i1.4085>
- Listyaningrum, T. A., & Widodo. (2024). Meta Analisis Pengaruh Pembelajaran Berbasis Inkuiri Terbimbing dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika. *Jurnal Genesis Indonesia*, 3(02), 69–79. <https://doi.org/10.56741/jgi.v3i02.549>
- Liu, J., Zhang, R., & Xiong, J. (2023). Machine learning approach for estimating the human-related VOC emissions in a university classroom. *Building Simulation*, 915–925. <https://doi.org/10.1007/s12273-022-0976-y>
- Manikandan, N. S., & Kaliyaperumal, G. (2024). Beyond the Current Curve: A Novel Curve Warning System Considering Subsequent Curve Speed Limits. *IEEE Access*, 12(December), 175056–175070. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3500003>
- Nurlina, I. T., Kosjoko, K., & Mufarida, N. A. (2021). Perbandingan Pengereman Pengujian Rem Statis Dan Pengujian Rem Jalan Pada Kendaraan Pick Up L300. *AutoMech : Jurnal Teknik Mesin*, 1(01), 17–19. <https://doi.org/10.24269/jtm.v1i01.4088>
- Pengujian Berkala Kendaraan Bermotor.* (2015). https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2015/PM_133_Tahun_2015.pdf
- Peraturan Menteri Perhubungan. (2021). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 19 Tentang Pengujian Berkala Kendaraan Bermotor.* 1–85.
- Pranoto, E., Miftahul Hidayat, A., Humami, F., & Nur Hakim, M. I. (2020). Komparasi Efisiensi Pengereman Pengujian Rem Statis (Static Brake Test) Dan Pengujian Rem Jalan (Road Brake Test). *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, 7(1), 19–25. <https://doi.org/10.46447/ktj.v7i1.72>

- Rejeki, D. S., Fitrianti, Ariyanto, A., & Kurniawati, W. (2024). Analisis Konsep Glb Dan Glbb Dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(3), 13–19.
- Rofiq, M. (2024). Elf 19 Penumpang Rem Blong Lalu Tabrak Motor, 2 Orang Tewas. 2024. <https://20.detik.com/detikupdate/20240817-240817109/elf-19-penumpang-rem-blong-lalu-tabrak-motor-2-orang-tewas>
- Skorupka, Z. (2022). Efficiency and Fatigue/Endurance Laboratory Tests of Aviation Friction Brakes. *Fatigue of Aircraft Structures*, 2022(14), 104–113. <https://doi.org/10.2478/fas-2022-0008>
- Sunitha, K. A., Suraj, G. S. G. S., Sriram, G. A., & Sai, N. S. (2021). Assistive Robot for Visually Impaired People. *Journal of Physics: Conference Series*, 2089(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2089/1/012056>